

Université de Montréal

La prise en compte de la visibilité dans la conception d'un espace théâtral
par des dispositifs numériques

par
Nada El-Khoury

Faculté de l'aménagement

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures en vue de l'obtention
du grade de Maître en sciences appliquées (M.Sc.A)
en aménagement

Option : Conception, modélisation et fabrication assistées par ordinateur

avril, 2004

© Nada El-khoury, 2004



NA

9000

U54

2004

v.014

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

La prise en compte de la visibilité dans la conception d'un espace théâtral
par des dispositifs numériques

présenté par :

Nada El-Khoury

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

.....
président-rapporteur

.....
directeur de recherche

.....
codirecteur

.....
membre du jury

SOMMAIRE

Cette recherche s'inscrit parmi celles qui tentent de conférer aux moyens informatiques disponibles aujourd'hui, des caractéristiques qui ne limitent pas leur rôle à de simples outils de représentation. En effet, de plus en plus de recherches sont axées sur l'intervention de l'outil informatique comme assistant dès les premières phases de la conception architecturale. Il est donc possible d'intégrer certaines considérations qui seront prises en compte lors de la création d'un espace architectural. En application, l'exemple de la prise en compte de la visibilité des spectateurs est envisageable dans le cadre de l'aménagement d'un espace théâtral.

Précédée par une recherche historique et exploratoire, cette étude propose un dispositif numérique d'aide à la conception intégrant des variables identifiées à travers l'élaboration d'un modèle de théâtre.

En fonction de ces recherches, nous avons proposé un premier modèle informatique. Ce modèle nous a permis de mieux définir nos objectifs. Nous avons ensuite réalisé un modèle informatique final en utilisant un langage de programmation fonctionnel et un outil de description volumique, qui répond mieux aux exigences que nous avons fixées. Nous avons ainsi obtenu un dispositif qui a la particularité de pouvoir être interrogé de manière à fournir des réponses aux exigences du concepteur d'un espace théâtral. Il présente l'avantage de donner des informations sur la qualité visuelle des places et d'optimiser leurs emplacements pour une meilleure visibilité des spectateurs. La méthode de travail présentée pourra servir de base pour une mise en application ultérieure sur la conception d'autres espaces de théâtre en fonction de la visibilité.

Notre démarche de recherche nous a permis de vérifier l'hypothèse de recherche qui consiste à dire qu'«il est possible, dans un théâtre, de reproduire l'espace visuel, sous forme de modèle informatique manipulable. Il pourra déterminer la position des sièges et faciliter la prise en compte de la visibilité dans un espace théâtral.»

Les résultats obtenus portent à croire que l'outil informatique peut être mis à contribution pour améliorer la conception d'un espace théâtral en fonction de la visibilité.

Cette recherche contribue, non seulement à la mise au point de dispositifs numériques capables d'aider le concepteur dans sa tâche d'aménagement d'un espace théâtral en prenant compte de la visibilité des spectateurs, mais, aussi à ouvrir des voies de développement de nouveaux outils d'aide à la conception.

Mots clés : visibilité, CAO, espace théâtral, dispositif numérique

ABSTRACT

The following study is in keeping with other studies which tend to broaden the role of computer tools available nowadays and seen as more than just representation tools. In fact, more and more studies focus on computer tools used as smart guides in the preliminary concept development stages. It is therefore possible to integrate and provide for some of these considerations when designing a theatrical facility. In practice, providing for audience visibility can be considered within the framework of theatrical facility planning.

A historical and exploratory research was conducted prior to the following study which introduces a digital design tool that integrates variables identified throughout the design process of a theatre model.

On the basis of these research studies, we have proposed a first computer model. This model helped us in clearly defining our objectives. Then, we created a final computer model by using a functional programming language and a volume representation tool which meets our target requirements more adequately. We therefore obtained a cognitive and interactive device whose characteristic is that it can be queried in such a way as to fulfill theatrical designers' requirements. It has the advantage of giving information on the visual quality of seats and optimizing their location in order to improve audience visibility. The working method we introduced will serve as a basis for future implementations when designing theatrical facilities and providing for audience visibility.

Our research process helped us validate the working hypothesis implying that "in a theatre, it is possible to reproduce visual space with a computer-based operational model and determine the location of seats to provide for audience visibility within such a theatre."

The results we obtained lead us in believing that we can draw on computer tools to improve theatrical design and audience visibility. The following study not only contributes to the development of digital devices that can help the designer in the planning of a theatrical facility while providing for audience visibility, but it also results in significant advances with regard to new automated design tools.

Keywords: visibility, CAD, theatrical facility, digital device.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	iii
ABSTRACT	v
TABLE DES MATIÈRES	vi
LISTE DES FIGURES	viii
REMERCIEMENTS	x
INTRODUCTION	1
PARTIE 1 PROBLÉMATIQUE	5
Chapitre .1.1 LA MISE EN CONTEXTE	7
.1.1.1 Les assistants à la conception	7
.1.1.1 Le scénario mental et la modélisation	9
.1.1.2 La modélisation d'un opérateur : la visibilité	11
Chapitre .1.2 LE CHOIX DES VARIABLES : ÉTUDE HISTORIQUE	14
.1.1.1 Définition	14
.1.2.2 Les variables	15
.1.2.2.1 La forme d'un théâtre	15
.1.2.2.2 La pente	16
.1.2.2.3 L'emplacement du spectateur	19
.1.2.2.4 Le champ de vision	20
Chapitre .1.3 L'IMPORTANCE DE LA VISIBILITÉ EN CONCEPTION THÉÂTRALE	22
.1.1.1 La visibilité et les théâtres : un savoir-faire	22
.1.3.3 l'espace visuel	25
.1.3.4 La question de recherche	26
PARTIE 2 EXPLORATION DES MÉTHODES DE SIMULATION DE LA VISIBILITÉ	28
Chapitre .2.1 LE PRINCIPE MÉTHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE EXPLORATOIRE	29
Chapitre .2.2 L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	31
.2.2.1 L'exploration de méthodes	31
.2.2.2 Le choix d'un langage	32
.2.2.3 Le cas de la modélisation déclarative	35
.2.2.4 Le cas de la relation entre les rayons lumineux et visuels	38
.2.2.5 Le cas du «théâtre du mouvement total»	41
.2.2.6 Le cas de la perception spatiale	42
.2.2.7 L'identification des variables et l'hypothèse	44

PARTIE 3	MÉTHODOLOGIE	46
Chapitre .3.1	OBJECTIFS DE LA MODÉLISATION	48
.3.1.1	Approche à la modélisation	48
.3.1.2	Étude préliminaire	49
Chapitre .3.2	APPROCHE 1 : EN INFORMATIQUE GRAPHIQUE	54
.3.2.1	Analyse d'un espace théâtral	54
.3.2.2	Traduction informatique	57
.3.2.3	Le modèle informatique résultant	58
.3.2.4	Discussions et conclusions	62
Chapitre .3.3	APPROCHE 2 : TRAITEMENT DES VARIABLES	64
.3.3.1	Objectif	64
.3.3.2	Le modèle informatique recherché : les variables	65
.3.3.2.1	<i>Forme d'un théâtre</i>	65
.3.3.2.2	<i>Portée visuelle</i>	65
.3.3.2.3	<i>Pente d'un théâtre</i>	66
.3.3.2.4	<i>Emplacement d'un spectateur</i>	66
.3.3.2.5	<i>Angle de vision d'un spectateur</i>	67
.3.3.3	Le tableau des variables	70
.3.3.4	Description de l'expérience et exemples de résultats	72
.3.3.5	Qualification de la visibilité	77
.3.3.6	Traitement des variables	78
.3.3.6.1	<i>Fonctionnement du modèle et ses constituants</i>	82
.3.3.6.2	<i>Les résultats de la première expérimentation</i>	86
.3.3.6.3	<i>La relation entre les points d'insertion et la scène</i>	89
.3.3.6.4	<i>La « vue de la vue » d'un spectateur</i>	90
.3.3.6.5	<i>La pyramide de vision</i>	95
.3.3.6.6	<i>Validation du modèle informatique</i>	99
.3.3.7	Discussions et conclusions	102
CONCLUSIONS GÉNÉRALES		104
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		108
ANNEXE 1		113
ANNEXE 2		117
ANNEXE 3		118

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Performing Arts Center at Bard College, Frank O. Gehry, New York . Design : 1997-2000 Construction 2000-02. Ci-dessus, à droite : vue sur l'entrée principale. À gauche : vue côté sud et vue sur l'intérieur du théâtre. (GA Document, International 2001, no 65).....	8
Figure 2. Le Faux-miroir, 1935, L'œil du peintre est un Faux-miroir : il modifie ce qu'il capte en restituant aux apparences le mystère du monde. (M. Paquet, 2000).....	9
Figure 3. Représentations «dites méthodologiques de la démarche de conception, en particulier celles de John Christopher Jones (1967), (J.-P. Chupin, H. Lequay, 2001).....	11
Figure 4. La maquette procédurale obtenue par interaction des paramètres (De Paoli, 1999).....	12
Figure 5. Restitution hypothétique du théâtre de Dionysos datant du VI ^e siècle av. J.-C. de Fiechter, Antike Griechische Theaterbauten. Courtesy Verlag W Kohlhammer GmbH, Stuttgart and Dr. C. Fiechter.	16
Figure 6. Reconstruction du théâtre romain à Ostia, érigé entre 30 et 12 ans (av. J.-C.) et remodelé 200 ans (apr. J.-C.) (Selon Espouy, Fragments d'architecture Antique, 1902). (d'après Brockett O.G., History of the Theatre, 1999).....	17
Figure 7. Profil de la cavea du Théâtre Romain (dont Voltaire était un fervent admirateur, l'idéal pour lui c'était la «salle en forme circulaire»). Effet du redressement de la pente en faveur de l'amélioration de l'angle de vue des spectateurs. (J.-C. Golvin, 1988).....	18
Figure 8. La foire paysanne, par Pieter Balten, v. 1525-v.1598 (Musée du théâtre d'Amsterdam). (Phot. © Institut néerlandais du théâtre / Photeb.), (D. Couty et A. Rey, 2001).....	19
Figure 9. Vue de la scène, théâtre de la Renaissance, (J.M. Pérouse de Montclos, 1989).	21
Figure 10. «Ledoux, l'Architecture» Dans la pupille de cet œil, est représenté le centre 23	23
Figure 11. Observation d'une scène dans une salle d'Opéra, (2002).....	24
Figure 12. «Intention visuelle» : à partir du square, l'observateur doit pouvoir voir la façade principale de l'église. (Faucher et Nivet, 1998).....	36
Figure 13. Rayon direct et inverse, visuel et solaire. (Faucher et Nivet, 1998).....	36
Figure 14. La notion d'intention telle que analysée par M.-L. Nivet (1999).	37
Figure 15. Représentation conceptuelle d'un modèle SVR (Sunshine, Visibility and Reflection : SVR model) : volume formé par les rayons reliant la partie «Base» à la zone «Target». (S. Houpert, 2002)....	39
Figure 16. L'interface de l'utilisateur par rapport au SVR (Sunshine, Visibility and Reflection : SVR model). (S. Houpert, 2002).....	40
Figure 17. «Le théâtre du mouvement total», tel qu'imaginé par J. Polieri dans les années 50. En 1999, il est présenté comme un espace réalisable avec les technologies d'aujourd'hui. (J. Polieri, 1990).....	42
Figure 18. Schéma des variables qui entrent en jeu dans le cas d'étude de la visibilité dans un théâtre... 44	44
Figure 19. Schéma illustrant le processus de design de Zeisel. (J. Zeisel, 1981) 46	46
Figure 20. Exemple du code des fonctions de réalisation de quelques gradins, à l'aide d'un langage fonctionnel : Scheme et image visualisée à l'aide de SGDL système. 51	51
Figure 21. Transposition de l'arène primitive oblongue à l'arène elliptique. Relations mathématiques entre les figures. (J.-C. Golvin, 1988).....	55
Figure 22. Dimensions de l'amphithéâtre romain elliptique : a et b étant les axes de l'arène. (J.-C. Golvin, 1988).....	56
Figure 23. Perception visuelle du spectacle exprimée sur le plan de l'amphithéâtre de Thysdrus (II ^e siècle apr. J.-C.), rénové entre 1973 et 1976, Tunisie. Différence de la qualité des places dans la cavea elliptique. (J.-C. Golvin, 1988).....	57
Figure 24. Construction du modèle informatique de l'amphithéâtre de Thysdrus Tunisie, (II ^e siècle apr. J.-C.) obtenu à l'aide du logiciel Autocad à partir des axes principaux.....	58
Figure 25. Construction des gradins de l'amphithéâtre de Thysdrus Tunisie, (II ^e siècle apr. J.-C.) autour de l'arène.	59
Figure 26. Début d'extrusion du modèle.....	60
Figure 27. Détails des proportions de l'amphithéâtre correspondant à l'équation $a/b = 5/3$	60
Figure 28. Modèle de l'amphithéâtre romain de Thysdrus (II ^e siècle apr. J.-C.), réalisé à l'aide du logiciel Autocad et illustrant, par les couleurs, la qualification du confort visuel.....	61
Figure 29. Coupe de l'amphithéâtre de Thysdrus (II ^e siècle apr. J.-C.).....	61

Figure 30. Tableau regroupant les résultats de l'analyse de J-C. Golvin, en triant les couleurs selon une numérotation qui varie de 1 à 8. Le chiffre 1 désignant les places caractérisées par la meilleure visibilité, dans un ordre décroissant allant jusqu'à 8.	62
Figure 31. Schéma illustrant les valeurs des mesures qui caractérisent un spectateur assis, en particulier la hauteur de ses yeux. (G.C. Izenour, 1996)	67
Figure 32. Cas d'un champ visuel obstrué	68
Figure 33. Champ visuel vertical lorsque le regard du spectateur n'est pas obstrué. (G.C. Izenour, 1996)	68
Figure 34. Champ visuel vertical lorsque le regard du spectateur est obstrué par une tête. (G.C. Izenour, 1996)	69
Figure 35. Champ visuel horizontal. (G.C. Izenour, 1996)	70
Figure 36. Tableau regroupant les valeurs des variables	72
Figure 37. Dessin montrant l'xemple d'une section de gradins disposés selon des parallèles à l'axe des X.	73
Figure 38. Dessin avec les gradins déformés pour obtenir une forme courbe par déplacement des points P1, P2 et P3.	74
Figure 39. Pyramide de vision reliant le point P position du spectateur et les sommets de la scène. (M-L. Nivet, 1999)	75
Figure 40. Exemple de salle italienne. (Extrait de « Scénographie » de J. Polieri, 1990)	76
Figure 41. Exemple de théâtre en arène illustrant les rapports de visibilité. (J. Polieri, 1990)	76
Figure 42. Tableau 1 illustrant l'appréciation qualitative de la visibilité dans un espace théâtral	78
Figure 43. Tableau 2 qui montre l'espace perçu par un spectateur à partir d'un siège précis défini par ses coordonnées	79
Figure 44. Image de la scène à partir d'un ensemble de sièges situés au balcon de la salle de l'Orchestre Symphonique de Chicago (effet réalisé à l'aide de «Flash Macromedia» par «Deepinteractive.com», 2002)	80
Figure 45. Tableau 3 illustrant l'appréciation quantitative des sièges par rapport à la visibilité dans un espace théâtral en considérant les variables.	80
Figure 46. Organisation des fonctions qui génèrent la tribune	82
Figure 47. Détails de la procédure qui tient compte des paramètres	83
Figure 48. Premier résultat de la construction de la tribune : Construction des gradins selon les axes en rouge et bleu.	83
Figure 49. Successions d'images permettant d'analyser le résultat qui affiche le nombre de places.	85
Figure 50. Répartition des points d'insertion sur l'ensemble de la tribune	86
Figure 51. L'espace constitué par les gradins et la scène peut se déformer en fonction de la visibilité.	88
Figure 52. Distribution des sièges sur l'ensemble de la tribune	89
Figure 53. siège.	90
Figure 54. Possibilité de changement de sièges.	90
Figure 55. Vue frontale à partir d'un siège positionné à l'avant.	91
Figure 56. Vue à partir d'un siège situé à la 5 ^{ème} rangée, au milieu et simulation des têtes.	92
Figure 57. Vue à partir d'un siège situé sur le côté de la salle et simulation des têtes.	92
Figure 58. Scène vue avec et sans les spectateurs.	93
Figure 59. Application du principe à d'autres formes de sièges.	94
Figure 60. pyramide de vision.	95
Figure 61. Premier résultat de la distribution des couleurs sur les sièges.	97
Figure 62. Modèle qui montre la possibilité de varier les conditions en vue d'obtenir plus de catégories.	97
Figure 63. La tribune divisée en quatre catégories de couleurs.	98
Figure 64. La tribune divisée en trois catégories de couleurs.	98
Figure 65. Place publique : Place des Arts (Montréal)	100
Figure 66. Espace devant le temple de Bacchus aménagé en lieu de spectacle (Baalbek)	101

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont tout d'abord à monsieur Giovanni De Paoli, mon directeur de recherche et ami, pour les connaissances et la motivation qu'il m'a apportées. C'est une grande chance de pouvoir mener cette expérience enrichissante avec lui. Sans sa généreuse collaboration et ses encouragements, le travail de recherche n'aurait pas été achevé.

Je remercie également, monsieur Temy Tidafi, mon co-directeur de recherche, qui s'est amicalement offert de m'aider dans le travail de modélisation.

J'aimerais surtout remercier, Ivanka Iordanova pour sa généreuse collaboration dans la programmation informatique, sa disponibilité et son plaisir à communiquer ses connaissances.

Ma reconnaissance va aussi à madame Manon Guité, qui a eu la gentillesse d'orienter mon sujet de recherche et avec qui j'ai eu le plaisir de discuter.

À monsieur Claude Parisel, vont aussi mes remerciements. Sa bonne humeur et les connaissances qu'il transmet à ses étudiants, ont su mener ma recherche à bon port.

Merci à monsieur Jean-François Rotgé, d'avoir alimenté ma recherche historique concernant les théâtres.

Un grand merci à monsieur Daniel Siret, Professeur de l'École d'Architecture de Nantes qui a contribué à enrichir ma recherche.

Je remercie mon ami Jean Revez qui m'a conseillé et fourni des informations sur les travaux de recherche concernant l'amphithéâtre romain.

Je souhaite remercier sincèrement toutes les personnes qui ont contribué à enrichir le contenu des présentes pages. En particulier mes amis Sihem Neggaz, Anis Semlali, Salim Birady et Nathalie Charbonneau qui m'ont énormément aidée.

Et comment oublier Élise, Vanessa, Djaouida, Carlos, Samir, Sébastien, Leila, Gabriel, Neil, Djebbar, Guillaume et tous les amis du GRCAO.

À madame Nicole Larivière vont aussi mes remerciements.

Merci à ceux que j'ai pu oublier et surtout merci à ma famille qui m'a épaulée tout au long de cette expérience.

INTRODUCTION

Assise sur le siège qui lui a été réservé, une petite fille s'apprête à assister au spectacle qui vient tout juste de commencer. Les artistes défilent devant elle, sur la scène, et elle perçoit à peine leurs mouvements qui sont entrecoupés, saccadés. Forcée de rompre la loi du silence imposée par sa mère quelques minutes auparavant, elle s'exclame : «Maman ! Je n'arrive pas à bien voir ! ». Ne recevant pas de réponse, elle ajouta : «Mais, pourquoi ? »

Même s'il se pose davantage chez l'enfant, ce problème de visibilité n'est pas limité aux plus petits, mais touche également les plus grands qui ne sont pas épargnés eux aussi du sentiment de la frustration de ne pas pouvoir «mieux voir».

Dans un théâtre, les sens sollicités sont la vue et l'ouïe. (A.Appia et E. Gordon Graig d'après D.Couty, 2001, p.208). Nous pouvons donc supposer que la prise en compte des facteurs visuels a une certaine importance lorsque le concepteur imagine et construit un nouvel espace théâtral.

Comment rendre compte de la visibilité des spectateurs dans un espace théâtral ? Comment penser et réaliser l'intégration de ce qui est perceptible par la vue, dans la conception d'un espace théâtral ? Comment envisager la visibilité en tenant compte d'une des exigences des spectateurs : «mieux voir» ?

La recherche que nous présentons ici se situe à la croisée de deux domaines : l'aide à la conception d'un théâtre et la prise en compte de la visibilité dans cet espace. Plus précisément, notre recherche vise à ouvrir des voies vers une meilleure gestion et contrôle de la visibilité dans un espace théâtral dès les premiers stades de la conception et tout au long de ses phases.

Il est ici question, de visibilité, c'est-à-dire de la qualité de ce qui peut être vu. Il s'agit de «mieux voir», et non de voir tout simplement. Tout au long de notre recherche, nous

aurons l'occasion d'évoquer cette distinction. En effectuant cette recherche, nous poursuivons la réflexion engagée par le Groupe de Recherche en Conception Assistée par Ordinateur de l'Université de Montréal (GRCAO), où se développent, entre autres, des méthodes pour la prise en compte de facteurs divers comme l'acoustique, la visibilité ainsi que l'ensoleillement dans le projet architectural.

La prise en compte de la visibilité représente une activité complexe qui nécessite une certaine approche de la part du concepteur. Il sera amené à se mettre dans la peau du spectateur pour figurer la scène idéale qui sera appréciée de partout dans le théâtre.

Une des premières difficultés de ce travail est de se familiariser avec le milieu du théâtre, le mode de pensée du concepteur d'un espace théâtral et plus particulièrement l'intégration de la visibilité dans ce mode de pensée. Ayant pour but d'assister le processus de création d'un espace théâtral en fonction de la visibilité des spectateurs, nous avons appris, faute de pouvoir concevoir un théâtre, à observer le théâtre et écouter le concepteur de cet espace.

L'objectif de la recherche est de proposer un exemple de modèle informatique capable d'assister le concepteur d'un espace théâtral dans le but de satisfaire la visibilité des spectateurs.

L'hypothèse est qu'«il est possible, dans un théâtre, de reproduire l'espace visuel, sous forme de modèle informatique manipulable. Il pourra déterminer la position des sièges et faciliter la prise en compte de la visibilité dans un espace théâtral.»

Nous avons choisi, pour débiter notre projet de mémoire, de nous appuyer sur une recherche historique qui consiste à étudier l'évolution des théâtres pour n'en retenir que les aspects concernés par la visibilité. Les informations rapportées du passé ne sont pas présentées par ordre chronologique, ni peuvent être exhaustives. Elles permettent d'approfondir les connaissances liées à notre champ d'études. L'objectif de ce rapport historique est donc de découvrir comment des civilisations anciennes ou modernes,

pouvaient concevoir des théâtres, en tenant compte de la visibilité des spectateurs. À cette étape d'observation des théâtres, succède celle consacrée à l'écoute du concepteur de cet espace. Partant de ces considérations, nous avons dégagé les facteurs qui interviennent lorsque le système visuel est en jeu et que l'architecte se doit de considérer.

Cette démarche, qui constitue la première partie du mémoire, permet d'approfondir nos connaissances de l'environnement théâtral d'une part, et d'autre part d'identifier les aspects qui sont retenus dans une modélisation informatique d'un théâtre pour ses qualités visuelles.

En deuxième partie, une recherche exploratoire dont les principes méthodologiques y sont résumés, est entreprise. Elle consiste à présenter des résultats de travaux de recherche qui mettent l'accent sur le rôle de l'outil informatique dans les domaines de l'architecture et de la visibilité. Cette analyse, appliquée à notre étude, nous permet de dégager des pistes pour la définition des variables qui interviennent dans la conception d'un théâtre en fonction de la visibilité. Elle nous apporte également des solutions quant aux méthodes à développer pour orienter notre recherche. Celle-ci se poursuit en présentant les différentes étapes qui mènent à la traduction du phénomène de visibilité à travers des variables prédéfinies grâce à la recherche exploratoire effectuée. Notons que tout au long de cette recherche, le mot variable pourra être substitué par le mot paramètre.

La troisième partie est consacrée à la proposition d'une méthode en vue de l'élaboration d'un modèle de théâtre où il est possible de vérifier les rapports de visibilité. Ce modèle sert de base pour une application ultérieure sur d'autres espaces de théâtre. Cette mise à l'épreuve de la proposition est traduite par la réalisation d'un prototype. Les images présentées traduisent les possibilités de la méthode proposée. Celle-ci est développée pour la vérification de la cohérence de l'hypothèse formulée. L'observation des résultats permet également de détecter les limites de la proposition avancée.

Cette recherche n'a pas la prétention de résoudre le problème de visibilité des spectateurs dans un théâtre, mais elle permet néanmoins de proposer une certaine amélioration dans le domaine de la conception théâtrale en fonction de la visibilité des spectateurs. Cette approche ouvre des voies vers de nouvelles pistes de recherches orientées vers la remise en question des méthodes habituelles utilisées par les architectes pendant la première phase de conception. Dans notre cas, elle peut remettre en question la façon de concevoir un espace théâtral pour satisfaire la visibilité des spectateurs.

PARTIE 1 PROBLÉMATIQUE

L'utilisation de l'ordinateur ces dernières années s'est répandue dans presque tous les milieux de travail. Et le milieu de l'architecture n'est pas épargné puisque de plus en plus de concepteurs ont recours aux avantages qu'il peut offrir. En particulier, dans le cas précis de notre recherche qui soulève le problème de la visibilité dans un espace théâtral, nous expérimentons la possibilité d'utiliser l'informatique comme une aide à la conception.

Est-ce que l'outil informatique peut faciliter l'intégration et la prise en compte de la visibilité dans la conception d'un espace théâtral ?

Pour répondre à cette question, nous avons voulu approfondir certains concepts informatiques afin de pouvoir situer notre recherche. Celle-ci rejoint le thème des recherches concernées par l'aide à la conception. Pour le montrer, nous exposons brièvement les principes de la modélisation. Nous présentons aussi l'application qui est à l'origine de notre recherche.

Nous développerons ensuite notre problématique qui nous permettra de mieux comprendre le sujet. Dans un premier temps, nous avons observé les théâtres à travers un aperçu historique relatant l'évolution de la forme des théâtres au fil du temps sans pour autant respecter un ordre chronologique. L'histoire des théâtres depuis les Grecques, étant un champ d'études très vaste, nous nous sommes limités à retenir les thèmes qui ont un point connecteur avec la visibilité. Cet examen des diverses formes de théâtre nous a aidé à connaître les aspects dont dépend la visibilité des spectateurs et qui vont être pris en compte lors de la conception d'un espace théâtral.

Puis dans un deuxième temps, nous avons écouté un concepteur d'un espace théâtral. Après une présentation succincte de ses remarques par rapport à la visibilité dans les théâtres, nous examinons certains des facteurs qui conditionnent le processus de conception d'un espace théâtral. L'essentiel est de comprendre qu'un ensemble

d'éléments n'ayant au départ aucun rapport entre eux, peut être envisagé d'une manière homogène, si on le perçoit du point de vue d'un phénomène particulier, dans notre cas : la visibilité.

Cette constatation nous permet de définir clairement nos objectifs pour l'aide à l'intégration des considérations visuelles dans la conception d'un espace théâtral. Une fois la question recentrée, nous l'orientons vers la prise en compte de la visibilité dans la conception d'un espace théâtral en proposant l'outil informatique comme assistant.

Chapitre .1.1 LA MISE EN CONTEXTE

.1.1.1 Les assistants à la conception

Beaucoup de recherches se penchent aujourd'hui sur l'intervention de l'ordinateur dès les premiers stades d'une création architecturale et ceci, afin de trouver de nouvelles façons de gérer l'information nécessaire à un projet d'architecture. En effet, il est difficile de représenter, à l'étape du sketch, c'est-à-dire au tout début de la conception, toutes les variables qui interviennent lors du processus de conception. Par exemple, lors de la conception d'un espace théâtral, plusieurs facteurs entrent en jeu. Citons quelques-uns comme la forme et la pente d'un théâtre, le champ de vision d'un spectateur, la distance qui le sépare de la scène, sa position, les caractéristiques de la scène ou encore d'autres variables qui sont relatives à chaque concepteur de théâtre. Ces variables sont nombreuses, mais nous ne retenons que certaines dont l'outil informatique pourrait tenir compte, dans le cas de notre étude. Nous aurons l'occasion de développer les variables sélectionnées en détail dans cette recherche.

La majorité des architectes ont recours à l'outil informatique dans leur travail, en particulier pour réaliser leur conception de théâtres. Frank O.Gehry en est un exemple. À travers le projet du «Performing Arts Center» au campus de «Bard College», il a réalisé deux salles de théâtres. Le premier théâtre a comme caractéristique de se transformer suivant la qualité du spectacle et le nombre de personnes auquel il est destiné. L'autre salle a la capacité d'offrir des chaises rétractables afin de reconfigurer la pièce pour d'autres usages. (Figure 1) La panoplie d'outils disponibles actuellement rend possible le procédé d'études du rapport vision du spectateur et son siège.

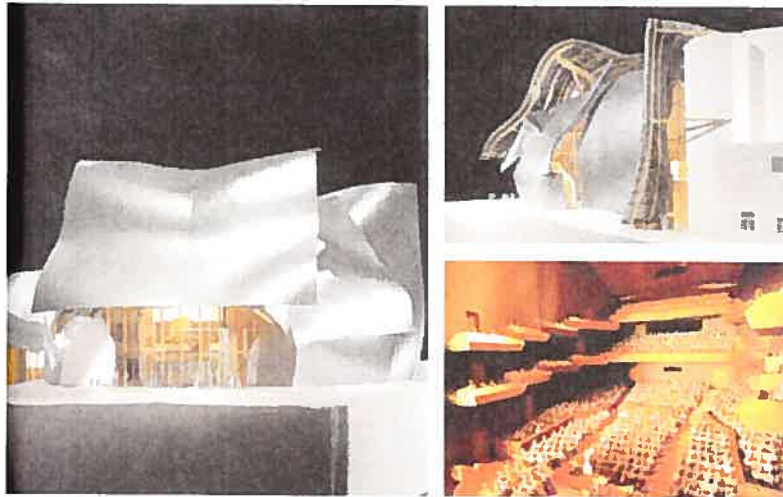


Figure 1. Performing Arts Center at Bard College, Frank O.Gehry, New York . Design : 1997-2000 Construction 2000-02. Ci-dessus, à droite : vue sur l'entrée principale. À gauche : vue côté sud et vue sur l'intérieur du théâtre. (GA Document, International 2001, no 65)

Ainsi, un ordinateur n'est plus un instrument pour stocker de l'information uniquement, mais son rôle tend à s'élargir pour devenir un outil de conception. Un peu à la manière de l'œil du peintre de Magritte, illustré dans «Le faux-miroir» (Figure 2), un écran d'ordinateur pourrait exprimer la pensée d'un concepteur qui doit tenir compte de la visibilité des spectateurs. M. Paquet (2000) souligne la différence entre le *visible* et la *pensée* qui oblige le peintre à rendre la *pensée visible* et à lui conférer un statut perceptible à l'œil. (Paquet, 2000) Magritte reflète dans ses toiles *l'image-choc et la pensée qui s'y implique, la vision simple et la vision réfléchie. La vue et la vue de la vue sont les composantes-clé de son œuvre.* Magritte interprète une pensée à travers les propriétés de l'objet sans lesquelles ce dernier n'existerait pas. Il est donc possible de comparer le modèle d'un théâtre à l'œuvre de Magritte. Devrons-nous utiliser le même procédé du peintre, sachant que le *visible* est l'image du modèle qui cacherait un savoir-faire traduisant la *pensée* du concepteur ? Nous serons en mesure d'avoir un aperçu de ce qu'un spectateur perçoit à partir de son siège. Et du fait, le concepteur d'un espace théâtral pourra concevoir un théâtre de façon à ce que chacun des spectateurs ait autant que possible, une vision favorable et optimale de la scène. Dans sa tâche, le concepteur aura besoin d'être assisté par un outil comme l'informatique.

Dans la pratique actuelle de l'architecture, l'outil informatique est souvent utilisé comme instrument de représentation et de communication (dessins, retouches et incrustations d'images, rendus tridimensionnels, visites virtuelles et autres). Or, cet outil d'aide à la conception n'est pas seulement un moyen de représentation et de communication, c'est d'abord et avant tout un outil de figuration et de modélisation. (Tidafi, 1996)



Figure 2. Le Faux-miroir, 1935, L'œil du peintre est un Faux-miroir : il modifie ce qu'il capte en restituant aux apparences le mystère du monde. (M.Paquet, 2000)

.1.1.1 Le scénario mental et la modélisation

La modélisation est, d'après J.-L. Le Moigne (1992) :

«une action d'élaboration et de construction intentionnelle, par composition de symboles, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée au sein du phénomène ; raisonnement visant notamment à anticiper les conséquences de ces projets d'actions possibles.» (Le Moigne, 1992)

Ce processus de modélisation pourrait être comparable, dans le contexte de notre recherche, à celui d'une mise en scène où le concepteur peut intervenir afin de modifier le résultat qui est le modèle d'un théâtre capable d'offrir une bonne visibilité aux spectateurs. Sa création est semblable à une réalisation d'un film qui cache sous ses images une succession d'opérations minutieusement calculées, harmonieusement assemblées en vue de satisfaire les exigences d'un public qu'il ne faut pas décevoir. À propos de ce processus cinématographique, I. Calvino (1988) décrit le résultat, en l'occurrence le film comme l'aboutissement d'une série d'étapes, immatérielles et matérielles, au cours desquelles les images prennent forme; dans ce processus, le

«cinéma mental» de l'imagination joue un rôle tout aussi important que la réalisation effective des séquences. Ce «cinéma mental» fonctionne continuellement en chacun de nous – il a toujours fonctionné, même avant l'invention du cinéma – et jamais il ne cesse de projeter des images sur notre écran intérieur. (Calvino, 1988)

Ce «cinéma mental» et le processus de modélisation ne sont-ils pas semblables ? Le concepteur d'un espace théâtral n'est-il pas lui-même un metteur en scène ? L'architecte prépare son scénario. Cette vision de l'architecte est illustrée par J. Saura (1995) qui qualifie le concepteur d'*architecte-metteur-en-scène de l'espace*. Son intervention privilégiée réside dans les liens et rapports entre le programme et son édification que Saura compare à un scénario, à une mise en scène, du spectacle de la construction, de l'espace. (Saura, 1995)

En vue d'élaborer son scénario, l'*architecte-metteur-en-scène de l'espace* se propose d'explorer différentes méthodes qui vont le guider vers le résultat convoité. Pour réaliser cette tâche, il élabore des scénarios de conception qui «déterminent la séquence possible d'activités des tâches, prévues dans le modèle conceptuel de la scène.» (V. Popov; L. Popova; G. De Paoli, 1998)

Pour une meilleure compréhension de ces scénarios de conception J.-P. Chupin et H. Lequay (2001) se basent sur trois portraits «cybernétiques» datant de 1967, de John Christopher Jones (Figure 3) qui illustrent l'évolution du phénomène de conception en trois actes. Dans le premier portrait, le concepteur fait office de magicien. Dans le deuxième, il est comparé à un ordinateur. Alors que dans le troisième portrait, «le concepteur apprend à se percevoir lui-même en train de percevoir, et donc de concevoir.»

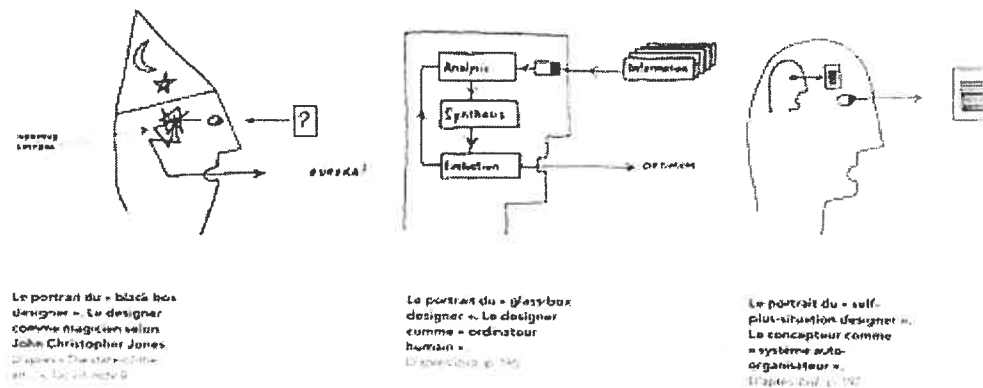


Figure 3. Représentations «dites méthodologiques de la démarche de conception, en particulier celles de John Christopher Jones (1967), (J-P. Chupin, H. Lequay, 2001).

Cette démarche conceptuelle appliquée à l'outil informatique a été l'objet de nombreuses études qui s'appuient sur différentes méthodes. À titre d'exemple, C. Parisel et T. Tidafi (1998) soulignent l'importance de la méthode de travail des architectes basée sur l'étude du « projet » avant sa réalisation et sur la visualisation préalable à travers une maquette. Ils proposent un modèle informatique défini comme étant une représentation d'un phénomène ou d'un objet, pouvant être traitée par un ordinateur et qui constitue une description plus ou moins complète de la réalité (Parisel, Tidafi, 1998). C'est aussi un modèle caractérisé par la prise en compte de certaines contraintes, et qu'ils décrivent de la manière suivante :

« Dans ce cas, le modèle communiquera, sans explication de l'auteur, les «règles» qui le régissent et donc reflètera, de façon explicite, les contraintes de conception. L'effort à fournir consiste à passer, d'une représentation implicite à une représentation explicite des relations. » (Parisel, Tidafi, 1998)

.1.1.2 La modélisation d'un opérateur : la visibilité

Plus proche de notre travail, De Paoli propose un système permettant «la modélisation des opérateurs sémantiques», telles que l'acoustique et la visibilité par exemple. Les opérateurs sémantiques qualifiés aussi d'immatériels ont été souvent rejetés au début de la conception, alors qu'ils constituent l'essence même du processus de conception.

Le problème est formulé comme suit : Comment procéder pour faire un théâtre ? Quels

outils devons-nous utiliser ? Quel langage de figuration permettrait de traiter des opérateurs géométriques en même temps que des opérateurs sémantiques ? (De Paoli, 1999)

La présentation d'une solution a pris forme à travers une étude sur le théâtre romain pour proposer la maquette procédurale qui tient compte de l'opérateur visibilité. (Figure 4) L'observation de l'exemple du théâtre romain, et les rapports qui existent entre les dimensions, impliquent un processus semblable à celui qui se produit lorsqu'un modèle est conçu moyennant l'outil informatique. Ainsi, on retrouve dans les livres de Vitruve, une similitude dans la façon de concevoir les théâtres. Les Romains pouvaient accommoder leur conception suivant les conditions, en variant les paramètres. Ils pouvaient par conséquent réaliser des théâtres similaires. À travers cet exemple, le chercheur s'est situé dans un paradigme qui va regrouper différents types de solutions moyennant des « figurations ». « La figuration consiste dans une série de scènes tridimensionnelles qui métaphorisent la réalité constructive et temporelle ». (De Paoli, 1999). Grâce à des fonctions paramétrables, ce procédé a permis de décortiquer les opérations de constructions dans le cas précis de la visibilité et de l'acoustique. (Figure 4). En utilisant un langage fonctionnel *Scheme*, les opérations de construction ont été groupées en modules et traduites en fonctions.

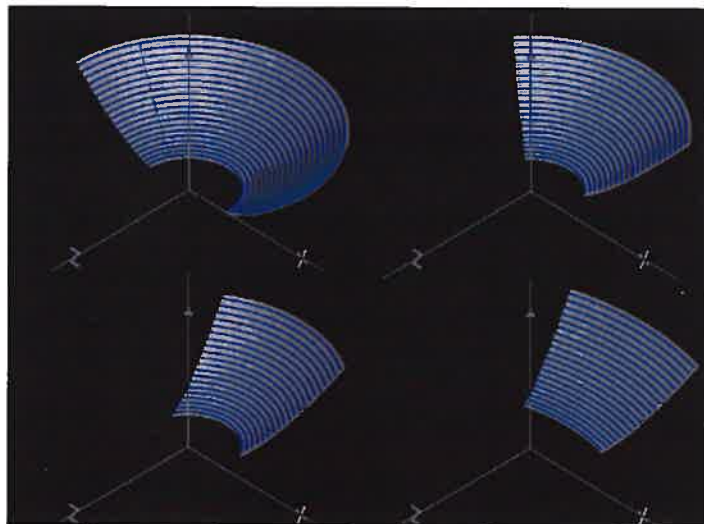


Figure 4. La maquette procédurale obtenue par interaction des paramètres (De Paoli, 1999)

Il en résulte une approche qui, comme le souligne I. Iordanova (2000), en parlant d'outil d'aide à la conception, permet d'englober des «opérateurs» du processus de conception. Elle le décrit comme une aide à la créativité qui ne devrait pas avoir pour objectif d'englober tout le processus de conception, mais juste d'assurer un appui par des figurations adéquatement structurées pour être manipulées, transformées et organisées dans une figuration de l'objet en conception. (Iordanova, 2000)

Ce procédé rappelle celui de *la réutilisation des connaissances architecturales* qui permet de réaliser une œuvre architecturale. Selon M. Léglise (2000), elle s'accomplit de la manière suivante :

Ainsi, pour concevoir une œuvre nouvelle, un architecte peut s'appuyer sur des fragments de connaissance qu'il a extraits d'œuvres anciennes, réutilisées ou simplement projetées. La conception s'appuie alors sur la mémoire d'une interprétation effectuée en amont, car l'extraction de connaissances réutilisables peut se faire par un travail d'interprétation. (Léglise, 2000)

C'est dans la voie de la réutilisation des connaissances que nous reprenons l'approche proposée par le Groupe de Recherche en Conception Assistée par Ordinateur de l'Université de Montréal (GRCAO) pour la prise en compte de la visibilité dans le cas du théâtre romain et l'appliquons à la notion de visibilité pour la conception d'un espace théâtral.

Chapitre .1.2 LE CHOIX DES VARIABLES : ÉTUDE HISTORIQUE

L'histoire des théâtres constitue un terrain très vaste à explorer. Nous proposons ici une étude des différents aspects des théâtres suivant leur visibilité. Le théâtre par nature est un spectacle à voir et entendre et non un texte à lire. Ce spectacle se déroule en un lieu et un espace autour duquel le public s'assemble pour voir et entendre. (A.Appia et E. Gordon Graig d'après D.Couty, 2001, p.208). La vue et l'ouïe sont les sens qui sont les plus sollicités pour un spectateur. Cette proposition de la prise en compte de la visibilité dans les théâtres n'est pas la seule possible. Elle aurait pu être orientée vers la prise en compte de l'acoustique ou des conditions thermiques. Notre choix délibéré est orienté vers la conception des théâtres suivant l'angle de la visibilité. Par cette analyse historique, nous cherchons à identifier les invariants d'un questionnement relatif à la recherche, en mettant en évidence les aspects liés à la vision et en montrant l'importance de la notion de visibilité.

.1.1.1 Définition

Avant d'explorer l'histoire du théâtre, effectuons une rapide exposition de sa définition telle que l'a écrite G. C. Izenour, (1996) :

"Every performed art is a performer-audience shared experience entirely dependent upon the sensations of seeing and hearing. Anthropology teaches that in the long chain of human evolution these two senses developed gradually and at widely separated times. Seeing came first and for fundamental survival of the race is the more important..." (Izenour, 1996).

Cette définition rejoint celle de R.Neutra qui souligne l'importance de la visibilité dans un espace théâtral. Il écrit que l'espace théâtral est, selon le mot grec theatron, un espace dans lequel l'on voit ou l'on regarde, un spectatorium, mais c'est également un auditorium, une salle où l'on entend. Ce n'est pas seulement un espace qui suscite la réaction de ces deux sens, mais un espace tout plein de ce qu'offrent les autres sens à des millions de récepteurs. Les architectes doivent désormais satisfaire des clients qui ont plus de cinq sens. Neutra décrit le théâtre comme un «espace thermal» où la température

monte en même temps que le rideau, échauffée par des centaines d'êtres humains d'un acte à l'autre.¹ (Neutra d'après Polieri, 1990)

La définition, ainsi peinte par l'architecte, donne un sens particulier au mot théâtre. Ainsi pensée par R. Neutra, la représentation de l'espace théâtral revêt un aspect révélateur des inductions que peut engendrer la présence du spectateur. Nous pouvons conclure qu'un espace théâtral implique la mise en rapport de plusieurs dimensions où certains facteurs viennent conditionner la visibilité des spectateurs dans le contexte théâtral. La visibilité est le résultat de plusieurs variables que nous allons tenter d'identifier dans la partie qui suit.

.1.2.2 Les variables

L'étude de l'espace théâtral ne saurait être complète sans un retour sur le passé. C'est à travers un regard sur l'histoire que nous proposons de parcourir les différentes évolutions de l'architecture des théâtres afin d'en extraire les paramètres.

Quoique les avis soient partagés sur les origines du théâtre, nous limiterons le point de départ de cet aperçu historique au théâtre grec. Toutefois, les anthropologistes estiment que l'origine du théâtre remonte à la pratique de rituels, de mythes et de cérémonies.

.1.2.2.1 *La forme d'un théâtre*

La forme de la scène conditionne l'architecture de l'ensemble de l'espace théâtral. C'est une variable qui intervient dans la conception d'un espace théâtral et fait l'objet de nombreuses recherches afin de découvrir les origines de la forme des premières scènes.

Vitruve décrit l'architecture du théâtre et l'évolution de la scène en particulier. Sa forme a été étudiée à travers l'observation de ruines grecques. D'après l'historien O.J. Brockett (1999), la découverte de traces de lieux scéniques à caractère circulaire dans l'île de

¹ Cette citation est extraite du livre POLIERI J., «*Scénographie, Théâtre Cinéma Télévision*» *Le Grand Classique*, Éditions Jean-Michel Place, Paris, (1990)

Crète a permis de remettre en question la supposition d'*orchestra* uniquement carrée et rectangulaire. Les premières traces du théâtre grec sont apparues à travers l'examen du théâtre de Dionysos (VI^e siècle av. J.-C.), (Figure 5), (situé dans l'enclos de «Dionysos Eleutherios» sur la pente de la colline au pied de l'Acropolis). Il est constitué essentiellement de l'*orchestra* au plan circulaire (ou lieu de danse), alors que le public, assis ou debout, remplissait le flanc de la colline afin de contempler une tragédie quelconque. (Brockett, 1999)

Quoiqu'il en soit, cette découverte a remis en question l'existence d'*orchestra* uniquement carré ou rectangulaire, d'après les hypothèses qui avaient été formulées sur l'origine de la forme d'une scène. (O.G. Brockett, 1999)

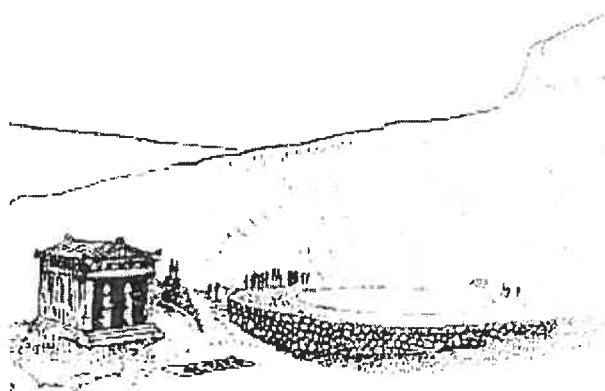


Figure 5. Restitution hypothétique du théâtre de Dionysos datant du VI^e siècle av. J.-C. de Fiechter, Antike Griechische Theaterbauten. Courtesy Verlag W Kohlhammer GmbH, Stuttgart and Dr. Cfiechter. (O.J. Brockett, 1999)

.1.2.2.2 La pente

L'architecture des théâtres et en particulier celle du théâtre romain revêt une certaine importance dans cette étude de la visibilité dans les lieux de spectacles. En effet, les Romains ont tenu compte de ce facteur dans leur conception des théâtres puisqu'ils ont pris soin de favoriser une inclinaison adéquate de la pente du théâtre afin de mettre à la disposition des spectateurs des gradins. Ils ont ainsi contribué au bien-être du spectateur, en lui offrant un théâtre performant du point de vue confort visuel. Alors que beaucoup d'hypothèses ont été émises sur l'origine de la forme théâtrale, (Figure 6), le scénographe J. Polieri (1990) l'a décrite ainsi :

«Le plan classique du théâtre romain, qui, s'inspire, selon Vitruve, de celui du théâtre grec, aurait été conçu sur un modèle cosmique. Quatre triangles équilatéraux, dont un des sommets était orienté, chacun, vers l'un des points cardinaux -l'ensemble des sommets des triangles, formant un dodécagone zodiacal inscrit dans un cercle (l'orchestra)-, étaient destinés à servir de tracés régulateurs, non seulement pour la mise en forme et la disposition de la scène, mais également pour l'emplacement des gradins semi-circons crits.» (Polieri, 1990)

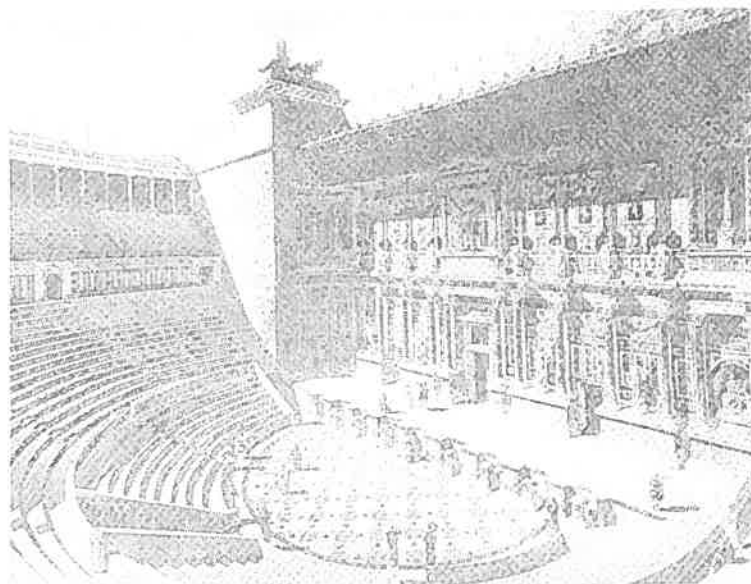


Figure 6. Reconstruction du théâtre romain à Ostia, érigé entre 30 et 12 ans (av. J.-C.) et remodelé 200 ans (apr. J.-C.) (Selon Espouy, Fragments d'architecture Antique, 1902). (d'après Brockett O.G., History of the Theatre, 1999)

Un autre fait auquel les Romains attachaient beaucoup d'importance était le choix de l'emplacement du théâtre. À ce propos, O.J. Brockett (1999) écrit :

«Contrairement à leurs prédécesseurs grecs, les Romains ont destiné leurs pièces théâtrales en l'honneur de plusieurs de leurs dieux. Chacun d'eux se distinguait par son propre enclos sacré où il était inconvenable de faire des offrandes à un autre Dieu. J.A. Hanson, dans «Roman Theatre-Temples» suggère que bien avant d'ériger un théâtre, les Romains s'assuraient que l'édifice se dresserait en face d'un temple, afin que le Dieu puisse jouir du spectacle. Celui-ci étant dédié à la divinité. »² (Brockett, 1999)

Les Romains tenaient compte aussi des conditions climatiques pour décider du lieu où ils allaient ériger leurs édifices et en particulier pour leurs théâtres. Ces derniers, bénéficiant déjà d'une bonne visibilité, avaient aussi l'avantage de jouir d'une excellente

acoustique. (Brockett, 1999)

À travers leur conception théâtrale, les Romains ont tenu compte de la pente du théâtre. Leur souci de favoriser une bonne vision de la scène aux spectateurs, se révèle dans les écrits de Vitruve. En effet, il souligne que la hauteur de la scène ne doit pas dépasser plus de cinq pieds, afin que ceux qui seraient assis dans l'orchestre puissent voir les gestes de tous les acteurs. (Vitruve, Liv. V. chap. VI, d'après A.Choisy, 1971)

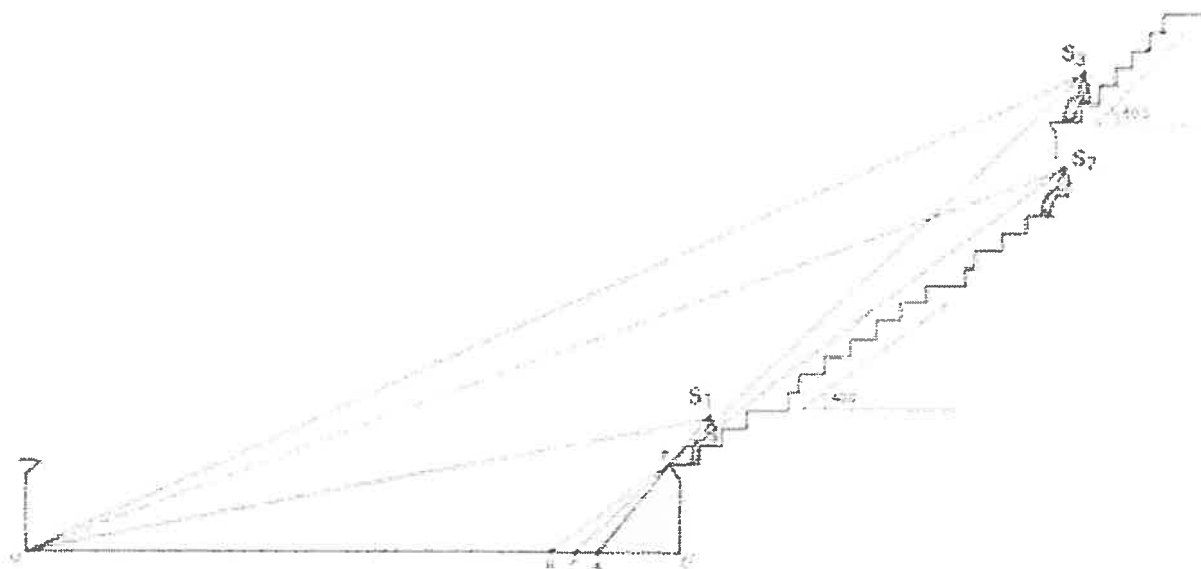


Figure 7. Profil de la cavea du Théâtre Romain (dont Voltaire était un fervent admirateur, l'idéal pour lui c'était la «salle en forme circulaire»). Effet du redressement de la pente en faveur de l'amélioration de l'angle de vue des spectateurs. (J.C Golvin, 1988)

Afin de respecter une vision globale de la scène, les Romains ont redressé la pente des gradins et se sont imposés des contraintes géométriques qui impliquent une bonne visibilité. Ainsi, l'exemple de «l'amphithéâtre romain» et en particulier celui de «Thysdrus» (Tunisie, II e siècle apr. J.-C.), se caractérisait par une pente entre 40 et 50 gradients (Figure 7)

.1.2.2.3 L'emplacement du spectateur

Le **spectateur** est un élément fondamental du théâtre, sur lequel il convient d'ouvrir une petite parenthèse. Après avoir été assis sur des gradins à l'époque gréco-romaine, voici qu'au Moyen-Âge il est le plus souvent debout, sur la place du marché aménagé comme un *lieu scénique* où se déroule la représentation. (Figure 8) M.C. Hubert (2000) n'admet presque pas l'existence d'un vrai théâtre au Moyen-Âge et à ce sujet elle écrit :

«Le théâtre n'existe, au Moyen-Âge, que le temps de la fête. Un auteur élabore en vue d'une représentation particulière, un texte dramatique que d'autres transformeront ultérieurement à leur guise, en fonction des réactions du public, tandis qu'on aménage un lieu scénique, défait sitôt les réjouissances terminées. Au Moyen-Âge, le spectacle théâtral se déploie dans toute la cité. Toutefois, la place du marché est un lieu privilégié pour les représentations.» (Hubert, 2000)

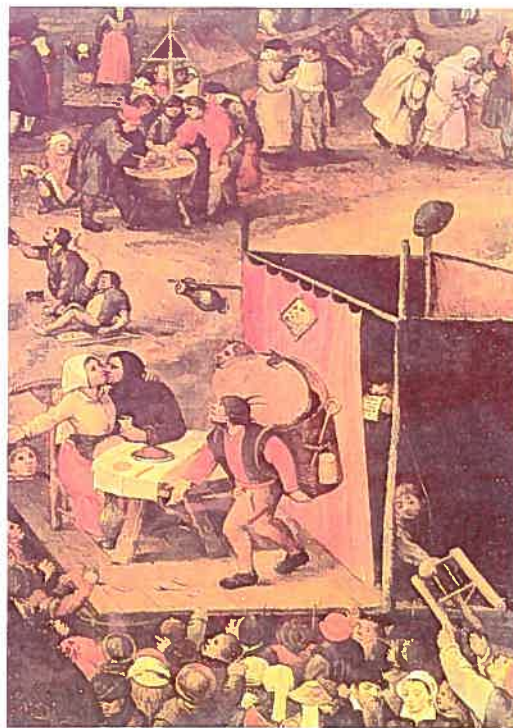


Figure 8. La foire paysanne, par Pieter Balten, v. 1525-v.1598 (Musée du théâtre d'Amsterdam). (Phot. © Institut néerlandais du théâtre / Photeb.), (D. Couty et A. Rey, 2001).

La visibilité dont le spectateur du Moyen-Âge devait bénéficier, était le résultat du propre choix des spectateurs qui s'attroupaient dans les places publiques autour d'une scène montée pour l'occasion. Le spectateur de l'époque pouvait donc s'accommoder en

se déplaçant autour de la scène pour satisfaire sa visibilité. Son emplacement ne dépendait pas d'une position fixe. Nous aurons l'occasion au courant de la discussion sur l'étude de cas proposée ultérieurement de revenir à cette notion particulière du théâtre relative à l'époque du Moyen-Âge.

.1.2.2.4 Le champ de vision

À l'encontre du théâtre médiéval qui interpelle directement le spectateur, celui de la Renaissance introduit un nouveau concept qui coupe le lien tissé au Moyen-Âge, entre le public et ce qui se joue sur scène. M.C. Hubert (2000) souligne les grands traits de ce phénomène. Elle explique que la vision frontale (c'est-à-dire la vision de face), expérimentée dans la Rome antique s'impose parce qu'elle seule est compatible avec un théâtre fermé. Le spectateur est désormais placé devant le spectacle (Figure 9) et n'entoure plus l'aire de jeu comme c'était le cas chez les Grecs et au Moyen-Âge. (Hubert, 2000)

Ce n'est donc qu'à la Renaissance que le spectateur s'enfermera dans des salles dont les principales caractéristiques sont la scène d'illusion en perspective, surmontée de plusieurs étages de loges ou de galeries disposées en «U» autour du parterre. (Figure 9) Les architectes créent une forme de théâtre radicalement nouvelle qui substitue au modèle sphérique de la Grèce antique une conception cubique de la scène qui coupe le spectateur de la représentation. (Hubert, 2000)

Avec cette frontière entre le spectateur et la scène, le champ de vision du spectateur sera conditionné. Il ne pourra plus envahir la scène comme il était coutume au Moyen-Âge afin de «mieux voir» mais aura un champ de vision qui variera en fonction des obstacles devant lui.

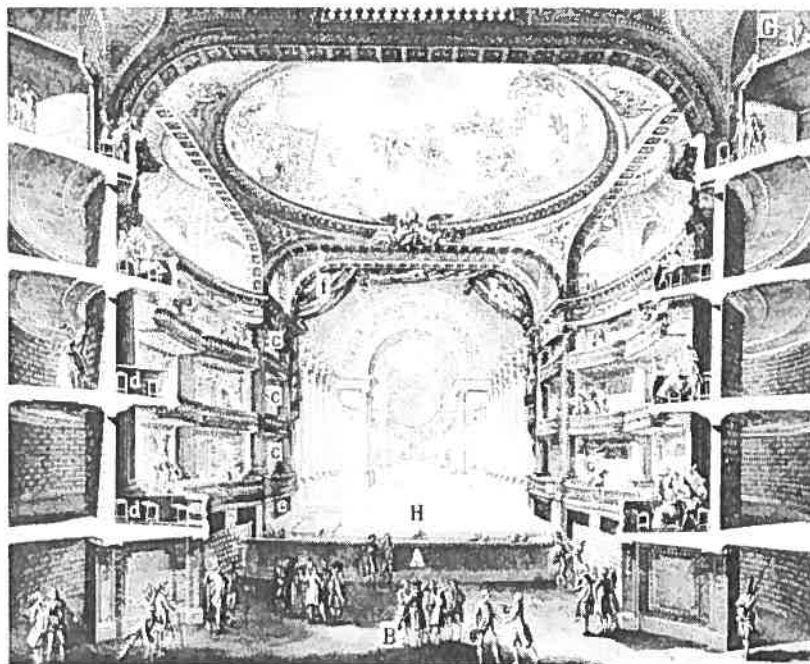


Figure 9. Vue de la scène, théâtre de la Renaissance, (J.M. Pérouse de Montclos, 1989).

Chapitre .1.3 L'IMPORTANCE DE LA VISIBILITÉ EN CONCEPTION THÉÂTRALE

Pour pouvoir envisager une assistance adéquate au cours de la conception d'un espace théâtral, favorisant la visibilité des spectateurs, il est important de comprendre la vision du concepteur. Ce qui suit constitue une brève étude auprès de concepteurs de théâtres. Elle nous aidera à mettre en évidence les caractéristiques de la visibilité avec les aspects qui seront retenus pour les expériences.

.1.1.1 La visibilité et les théâtres : un savoir-faire

La visibilité fut depuis longtemps un facteur important qui a toujours préoccupé les concepteurs de théâtres. Nous pouvons par exemple citer Claude Nicolas Ledoux, architecte du XVIIIe siècle, avant-gardiste. Son oeuvre, le théâtre de Besançon témoigne déjà d'une certaine conscience de la contrainte de visibilité. Cette salle se caractérise par une forme circulaire où *«le rayon le plus éloigné ne s'étend pas plus que la ligne la plus distante faite dans les jeux de paume.»* (Rittaud-Hutinet, 1982) Ledoux, dans sa conception du théâtre, a pris en compte la visibilité des spectateurs. J. Rittaud-Hutinet (1982) l'a qualifié de *«créateur d'un lieu théâtral de la société à venir»* et explique la vision de l'architecte de la manière suivante :

«Ledoux affirme tout d'abord la nécessité de disposer la totalité de son public de manière à ce que chacun puisse voir et entendre sans être contrarié ou interrompu par des corps étrangers qui détruisent l'objet principal. Cette préoccupation va présider à tous ses projets : éliminer les décorations et fausses perspectives pour, en quelque sorte, «alléger» le regard du spectateur et le diriger du même coup vers l'essentiel du théâtre : la scène.» (Rittaud-Hutinet, 1982)

Ledoux avait aussi d'autres considérations d'ordre social et dont il tenait compte lors de sa conception des théâtres : le spectateur de cette époque de la fin du XVIIIe siècle avait certaines exigences en rapport avec la visibilité. En effet, le public tenait autant à être vu par le reste de l'assistance, qu'à voir le spectacle lui-même. Cette habitude qui présidait et qui était en quelque sorte une règle sociale est illustrée par un échange, il y a environ

trois siècles, entre un homme et sa femme. Cette dernière exprime son désir de prendre une place au vu et au su de tout le monde. Pour répondre à cette requête, la conception théâtrale de Ledoux va tendre non seulement à rendre visible le spectacle, mais le spectateur ; le public doit être nettement vu par le public lui-même. Et l'iconographie peut guider clairement notre réflexion : l'examen de l'étrange gravure, sans légende, que Ledoux met en introduction aux plans de son théâtre révèle un oeil. Que reflète cet oeil ? La salle elle-même. « Tout est en rapport avec l'œil », écrit-il ; et, plus loin : « dans ma salle, on voit partout et on est vu partout. » (Rittaud-Hutinet, 1982)



Figure 10. «Ledoux, l'Architecture» Dans la pupille de cet œil, est représenté le centre de la salle du théâtre de Besançon. (J.P. Saint-Aubin, 1992)

La gravure, représentée à la figure 10, qualifiée de surréaliste et représentant le centre de la salle du théâtre de Besançon à travers la pupille d'un oeil, révèle l'importance de la visibilité dans la conception du théâtre de Ledoux, dont les principes étaient : «mieux voir (le spectacle)» et «être mieux vu (des autres spectateurs)». Ces deux fonctions vinrent influencer l'architecture de Ledoux qui a réalisé une salle où la scène avait l'avantage d'être à proximité des derniers rangs du public. Ce qui eut pour conséquence directe et comme l'avait prévu l'architecte, d'améliorer la visibilité des spectateurs.

Le souci de Ledoux d'une bonne visibilité, apparente à travers son architecture, s'est accompagné de son désir d'asseoir les spectateurs, chose qui n'était exclusive qu'aux premiers rangs. Dans ce domaine, Ledoux avait «d'illustres prédécesseurs». «*Un demi-siècle plus tôt, Voltaire s'était déjà indigné contre cet usage*» ; (Rittaud-Hutinet, 1982) celui de garder les spectateurs sur le parterre, debout, ce qui avait pour conséquence d'entraver la vision du public.

Or quelques siècles plus tard, nous voilà toujours assis dans les lieux de spectacle sans que ces paramètres aient été résolus. En effet, l'examen d'une salle d'opéra actuelle, révèle comment la visibilité est traitée. Il montre aussi la difficulté rencontrée pour résoudre les paramètres. (Figure 11) L'observation de l'emplacement d'un siège par rapport à la scène nous permet de remarquer que la scène, animée par un spectacle, n'est jamais totalement perçue par les spectateurs. Il y a toujours des parties cachées de la représentation qui se déroule, qu'il faut deviner et que le spectateur essaye de saisir. Certaines salles de spectacle présentent encore de nos jours des inconvénients au point de vue visibilité.



Figure 11. Observation d'une scène dans une salle d'Opéra, (2002)

La visibilité dans les théâtres n'est pas un récent sujet d'analyse. En effet, Voltaire était le premier à blâmer les dispositions maladroites des architectes et l'habitude qu'ont les spectateurs de se placer sur la scène. (G. Bapst 1971)

Il exprimait son opinion de la manière suivante :

«Un théâtre construit selon les règles doit être vaste; il doit représenter une partie d'une place publique, le péristyle d'un palais, l'entrée d'un temple. Il doit être fait de sorte qu'un personnage, vu par les spectateurs, puisse ne l'être point par les autres personnages, selon le besoin. Il doit en imposer aux yeux, qu'il faut toujours séduire les premiers. Il doit être susceptible de la pompe la plus majestueuse; tous les spectateurs doivent voir et entendre également, en quelque endroit qu'ils soient placés. » (Voltaire dans G. Bapst, 1971)

Voltaire avait donc remis en question la conception du théâtre à une époque où l'architecture de la salle est évaluée en fonction du théâtre français, et où les spectateurs avaient encore l'habitude d'envahir la scène. Il faut rappeler qu'ailleurs en Europe, il existait d'autres manières de concevoir un théâtre, mais nous nous contentons de limiter notre recherche à l'étude de la visibilité.

.1.3.3 l'espace visuel

Le théâtre au XX^e siècle a subi une grande évolution. Certains architectes n'hésitent pas à transformer la disposition traditionnelle des théâtres. À titre d'exemple, J. Nouvel, (en collaboration avec le scénographe F. Flamand), pour l'Exposition universelle de Hanovre, en 2000, a réalisé un spectacle sur le futur du travail, en proposant un dispositif scénographique où les acteurs sont au centre de la salle et les spectateurs autour : le public a été placé au milieu dans une arène où l'on descend par une rampe alors que les acteurs étaient sur des échafaudages. (Nouvel, 2002)

Cette pratique devient de plus en plus répandue et Z. Hadid l'applique dans un spectacle «Metapolis» où «l'espace de la scène n'est pas défini par des éléments délimitants comme des murs, mais par des lumières et des projections». (F. Flamand, 2002) Cette «dématérialisation de l'architecture» (J. Solt, 2002), produit un changement dans l'architecture théâtrale qui, il y a encore à peine quelques années était immuable et à propos de laquelle J. Svoboda² écrit qu'il subsiste toujours cette ligne de partage des eaux visible ou invisible entre deux espaces qui ne sont pas occupés de la même façon : l'espace de ceux qui regardent, et l'espace de ceux qui représentent. C'est précisément là que réside l'essence du théâtre.

Mais «l'essence du théâtre» est en train de subir une métamorphose et pour F. Flamand (2002), qui assiste et participe à ce phénomène, « [...] c'est l'utopie d'une nouvelle forme de spectacle.» (F. Flamand, 2002)³ Grâce aux nouveaux moyens disponibles, un

² J. Svoboda, 1984, cité par Giovanni Lista dans « *La Scène Moderne* », Actes Sud Arles 1997

³ Les propos de J. Nouvel et F. Flamand sont recueillis d'un article intitulé «La danse et le rêve» où l'architecte et le scénographe sont en conversation avec Judit Solt journaliste de la revue Archithese, 2002

nouveau genre de théâtre est apparu. Un genre où les techniques se mélangent. Cette méthode est justement adoptée par Robert Lepage. Ce dernier qualifié de «*metteur en scène technologique*», par la revue «*Convergence*», révèle :

«Toute nouvelle technologie au théâtre prend de la place par rapport à l'œuvre ! L'intégration parfaite des technologies au théâtre, ce n'est pas nécessairement qu'on ne les voit plus, c'est qu'elles aient quelque chose à dire.» (Lepage, 2001)

Ainsi, une scène traduit une vision propre à chaque type de spectacle. Pour explorer des exemples, la rencontre avec le scénographe Bernard Michel (2001) a été des plus utiles quant à la connaissance de ses besoins et des contraintes dans ses projets. Selon lui :

«À partir de là, la réflexion dominante se développe autour de la spatialité pour créer une méthode de pensée qui passe directement par la perception de la 3ème dimension. De plus, la simultanéité des démarches cinématographiques et théâtrales face à un même projet, contraint l'étudiant à affronter la 4ème dimension, à travers le mouvement du comédien, de l'espace et du regard.» (Michel, 2001)

Nous définissons l'ensemble de ces trois éléments analysés par B.Michel : *le mouvement du comédien, de l'espace et du regard*, comme étant l'«*espace visuel*». Autrement dit, c'est l'espace scénique que le spectateur voit à partir de sa place dans le théâtre.

.1.3.4 La question de recherche

Nous avons déterminé à travers la problématique certains paramètres dont dépend la visibilité dans les théâtres et qui sont les suivantes : la forme du théâtre, sa pente, l'emplacement du spectateur et son champ de vision. Ces paramètres seront détaillés dans la deuxième partie de notre travail qui concerne la recherche exploratoire.

À présent, comment pourrait-on déterminer «l'espace visuel» (ce qu'un spectateur voit de la scène) par rapport à chaque siège dans le cas d'une salle de théâtre ? Et comment définir la position de chaque siège et contrôler l'espace qu'il occupe ? Quel outil d'aide à la conception utiliser ?

Toutes ces questions survenues suite à cette étude se posent, étant donné que nous avons tous souvent expérimenté des théâtres en tant que spectateurs. Et nous avons constaté dans bien des cas le désavantage d'une certaine architecture conçue au détriment de certaines contraintes. Nous nous demandons pourquoi dans certaines salles de spectacle, la visibilité n'est pas prise en compte dès les premiers stades de la conception. Et comment pourrions-nous contribuer à y remédier ?

Ainsi, découlera la question à laquelle cette recherche tentera de répondre :

«Comment dans l'espace théâtral, est-il possible de rendre compte de la visibilité d'un spectateur à l'aide de l'outil informatique ? »

PARTIE 2 EXPLORATION DES MÉTHODES DE SIMULATION DE LA VISIBILITÉ

Nous avons présenté dans la première partie la problématique ainsi que le contexte dans lequel nous nous inscrivons. Nous avons déterminé nos objectifs, à savoir, faciliter la prise en compte de la visibilité lors d'un aménagement d'un espace théâtral.

Nous devons à présent déterminer les variables que doit intégrer notre modèle pour permettre aux concepteurs d'apporter tous les soins afin de favoriser la meilleure visibilité possible de tous les coins d'une salle de spectacle. Pour ce faire, nous procédons à une exploration des méthodes de simulation de la visibilité précédée d'une recherche concernant le choix de langage.

Nous étudions principalement certaines approches utilisées dans le cadre de l'architecture et de la visibilité. Nous présentons également certaines techniques développées dans les recherches concernées par la prise en compte de la lumière pendant la conception architecturale à l'aide des outils informatiques. Cette option de présentation nous permet de rapprocher les deux champs, celui de la visibilité et celui de l'ensoleillement par la notion de rayon. En particulier, nous notons que certaines limites s'imposent au niveau de la comparaison des deux approches relatives à la vision et à celle de l'ensoleillement.

À la fin de cette partie, nous effectuons la synthèse de cette présentation en sélectionnant parmi l'ensemble des techniques présentées les points qui nous paraissent importants pour la définition de notre modèle. Nous donnons ensuite une définition des variables impliquant la visibilité dans la conception d'un espace théâtral.

Chapitre .2.1 LE PRINCIPE MÉTHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE EXPLORATOIRE

Cette étude a été abordée en optant pour la recherche exploratoire dans le but «d'identifier des variables qui doivent être retenues dans une expérience » (Passini, 1996). Le phénomène de la visibilité dans les théâtres étant ambigu puisque la vision humaine est régie par différentes conditions. Ces conditions sont parfois indépendantes des éléments géométriques. Citons quelques exemples comme le type de théâtre, le genre de spectacle ainsi que la théorie de la perception. Celle-ci conçoit que chaque personne peut percevoir et apprécier un environnement physique différemment, en fonction de ses expériences passées, sa sensibilité, sa formation, sa culture, etc. Cette perception est aussi différente en fonction des finalités propres de chaque personne. (I. Iordanova, 2000). Son rôle sera écarté au courant de ce travail pour limiter le champ d'étude.

Semblable au cheminement qui mène vers la réalisation d'un spectacle, la recherche exploratoire est orientée vers l'observation de la réalité en vue de définir les principaux éléments d'un problème ou d'une situation. (Passini, 1996). L'expression de l'information et la manière de la communiquer jouent toutes deux un rôle très important aussi bien dans un travail de mise en scène que dans celui d'une recherche exploratoire. En effet, J.-M. De Ketele et X. Roegiers (1996) écrivent :

«Dans une recherche exploratoire, le recueil d'informations a surtout une fonction heuristique: c'est surtout à travers l'information recueillie que le chercheur émet des hypothèses.» (J.-M. De Ketele et X. Roegiers, 1996).

La fonction heuristique réfère à une démarche de recherche inductive correspondant à un processus d'inférence du général à partir du particulier. (Barth, 1993). Pour recueillir des informations, nous avons consulté des sources documentaires qui nous ont aidés à comprendre ce que l'outil informatique peut offrir au concepteur, comme l'aboutissement à un modèle qui «permet de représenter un savoir-faire exécutable par une machine». (Parisel, Tidafi, 1998) La visibilité des spectateurs sera ainsi un exemple de «savoir-faire» à intégrer au modèle informatique d'un théâtre. Elle dépendra de plusieurs

éléments ou facteurs représentés par des paramètres qui vont contribuer à réaliser un modèle d'un espace théâtral. Pour définir ces paramètres, nous avons également étudié des travaux de recherche qui ont porté sur des aspects variés de la prise en compte de la visibilité dans le cadre de la réalisation d'un modèle informatique.

Les résultats de notre recherche exploratoire sont regroupés dans ce qui suit, où nous faisons un survol des différents travaux de recherche impliquant la visibilité en milieu architectural et ayant recours à l'outil informatique comme principal assistant. Enfin, et au terme de cette partie, nous considérons les principales conclusions tirées des résultats de cette recherche exploratoire pour nous aider à renforcer l'hypothèse qui pourra être validée dans la mesure où les variables seront définies en particulier celles qui représenteront la visibilité. La détermination de ces variables pourra ainsi contribuer au développement d'un outil capable d'assister le concepteur d'un espace théâtral par le biais de la modélisation d'un «savoir-faire» : la prise en compte de la visibilité des spectateurs.

Chapitre .2.2 L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

.2.2.1 L'exploration de méthodes

Pour atteindre cet objectif, c'est-à-dire de réaliser un modèle résultant de «l'intersection (littéralement) de contraintes, posées ou non, qui influencent le projet» (I. Iordanova, 2000), comme la visibilité, il convient d'explorer deux méthodes de modélisation : l'analytique et la systémique. (J. de Rosnay, 1975). L'approche analytique, consiste selon T. Tidafi (1996), à modéliser un phénomène perçu en détaillant chacune de ses unités séparément et à comprendre ce qui les lie. Elle permet en outre, de les décomposer en éléments simples et indépendants et de les rassembler. Ainsi, J. de Rosnay (1975), compare le rôle de la méthode analytique à une réduction d'un système en «ses éléments constitutifs les plus simples». Il écrit que cette simplification s'établit afin de les étudier en détail et de comprendre les types d'interaction qui existent entre eux. Puis en modifiant une variable à la fois, d'en déduire des lois générales permettant de prédire les propriétés du système dans des conditions très différentes. (J. de Rosnay, 1975).

En conclusion, l'approche analytique s'appuie sur l'hypothèse qu'une unité constitutive d'un phénomène peut être détachée sans que cela n'affecte la définition même de cette unité ou du phénomène perçu. (T. Tidafi, 1999).

À l'encontre de l'approche analytique, la méthode systémique permet la modélisation d'un phénomène perçu en construisant un modèle de fonctionnement de ce phénomène. Ce qui donne la possibilité d'obtenir des modèles différents dépendants des définitions d'actions à varier selon le résultat convoité. (T. Tidafi, 1999) Les méthodes (analytique et systémique) sont toutes deux qualifiées par J. de Rosnay (1975) d'approches qui sont plus complémentaires qu'opposées et pourtant irréductibles l'une à l'autre. Cette relation entre ces deux approches est illustrée par J. de Rosnay (1975), qui écrit que l'approche analytique est la réduction d'un système à ses éléments fondamentaux constitutifs et conçoit l'ensemble comme une addition du caractère des unités selon les principes d'un strict déterminisme. Dans le cas de systèmes complexes constitués d'un grand nombre

d'éléments variés, les lois d'additivité des propriétés perdent leur valeur puisque joints par des fortes interactions. L'approche systémique, quant à elle, permet d'englober un système dans sa totalité et sa complexité. En effet, appliquer une théorie simple, qui, par sa nature, exclut le compliqué, l'ambigu, le paradoxe ou l'incertain dans des phénomènes complexes, revient à faire de la simplification au moyen de schémas simplistes. (J. de Rosnay, 1981)

Autrement dit et tel que l'écrit G. De Paoli (1999), «il est important, lors d'une recherche sur l'individu en interaction avec l'environnement, de ne pas rejeter le complexe, parce que difficilement simplifiable.» (De Paoli, 1999) Cette pensée ramenée dans le contexte de notre recherche impose le problème de la visibilité dans les théâtres comme étant une «complexité». Nous allons tenter de trouver une méthode qui puisse en tenir compte lors de la conception d'un espace théâtral, au moyen de l'outil informatique.

.2.2.2 Le choix d'un langage

Un langage performant produit selon M. Léglise (2000) un élément logiciel léger, une sorte d'utilitaire, qui a la faculté essentielle de se faire oublier :

«Un «bon» logiciel dans ce cadre est avant tout un logiciel au maniement tellement intuitif que l'on oublie rapidement sa présence, c'est-à-dire que l'on s'en sert. Car c'est une tâche de conception que l'on a à mener, pas une tâche de pilotage délicat d'un lourd système qui détournerait une partie de nos capacités vers sa conduite même.» (Léglise, 2000)

Considérant la définition de M. Léglise (2000) et afin de former une représentation tridimensionnelle (3D) d'une scène, il est important d'avoir recours à un langage et une grammaire de structures permettant la production d'autres structures spatiales. (V. Popov; L. Popova; G. De Paoli, 1999)

Pour faire le choix d'un langage qui jouerait le rôle d'assistant pour la réalisation d'une tâche de modélisation, il conviendrait de s'attarder sur l'un d'entre eux : le langage symbolique, qui, en informatique, est un langage de programmation permettant de donner des instructions à un ordinateur, sous forme d'un code. Il se décrit ainsi :

«Un langage symbolique est un moyen d'expression de la pensée mettant en œuvre des symboles. Pour les fins d'une modélisation d'actions, un langage symbolique doit permettre d'exprimer et la façon de réaliser une action et la manière dont des actions ont un effet les unes sur les autres. De plus, comme un tel langage est destiné à être utilisé à même un ordinateur, celui-ci doit également être informatique» (Tidafi, 1997)

Le langage symbolique se partage entre autres, en «langage évolué», que T. Tidafi (1997) qualifie comme étant le plus approprié pour la modélisation d'actions. Il est commun qu'un modèle décrive souvent un résultat escompté. Selon les recherches actuelles, ce résultat vise à exprimer toutes les relations qui existent entre les constituants du modèle. Certains de ces détails consignés dans la tête du concepteur, et qui décrivent un processus, peuvent être intégrés à une série d'indications assignées à l'ordinateur à travers un langage de programmation. Ce langage contribue au développement d'un modèle qui reflète les «règles» qui le régissent ainsi que les contraintes de conception dont il devra tenir compte. (Parisel, Tidafi, 1998)

Dans le cas de notre étude, la visibilité vue sous l'angle d'une contrainte de la part d'un concepteur s'imbrique au modèle en lui attribuant ses propriétés. Dans cette perspective et pour mieux comprendre les subtilités du langage symbolique nous explorons ses composantes : il se divise en trois grandes familles : (1) Les langages impératifs qui se basent sur la transmission d'«une liste d'instructions à une machine qui doit les exécuter dans un ordre bien défini [...] » ;(2) les langages orientés objets qui se consacrent à la manipulation d'objets informatiques ; (3) et les langages fonctionnels qui illustrent le mieux la modélisation d'actions au premier plan desquels figure le langage LISP⁴. Leur mise au point a permis de faciliter le traitement des méthodes pour la résolution de problèmes.

L'avantage d'une approche fonctionnelle est que celle-ci «supporte la propriété récursive d'un modèle qui se traduit par le fait que le modèle peut faire appel à sa propre définition pendant qu'il produit un résultat.» (I. Iordanova, 2000). Le processus récursif est un

⁴ LISP est un langage fonctionnel qui permet de raisonner sur l'utilisation de certains types d'expressions logiques, récursives qui forment un modèle de calcul. (H.Abelson et al, d'après T.Tidafi, 1996)

processus «dont les états ou effets finaux produisent les états initiaux ou les causes initiales» (E. Morin, 1977) Et comme le souligne T. Tidafi, (1996), cette récursivité qui caractérise le langage fonctionnel des autres langages de programmation est exclusive à un processus qui se base sur un «mode de pensée. (Tidafi, 1996). Un «mode de pensée» qu'interprète une machine grâce à la mise en place d'un code :

«Une fois les codes d'un programme entrés, l'ordinateur devient une véritable machine à concevoir, capable de reproduire d'infinies variations sur un même thème. Le principal défi quand on manipule un outil aussi puissant est le même que pour l'outil le plus simple : il doit toujours y avoir un concept initial clair qui puisse conduire le processus à un résultat pertinent.» (J. Maeda, 2000)

Le «concept initial» contiendra une connaissance, à savoir dans le cas de notre travail, la prise en compte de la visibilité dans la conception d'un espace théâtral. Il est donc possible d'envisager une méthode de conception efficace adoptant le langage fonctionnel. Cette méthode pourra générer un modèle incorporant les conditions d'une bonne visibilité ; et qui a de commun avec une méthode utilisant un langage orienté objets, c'est qu'elle peut engendrer un modèle manipulable.

Ayant défini un choix de langage et avant de déterminer notre méthode de travail pour aboutir à un «*résultat pertinent*» tel que décrit par J. Maeda (2000) dans la citation ci-dessus, nous poursuivons notre recherche exploratoire. Pour ce faire nous faisons un survol des méthodes envisagées dans le cadre de différentes études portant sur la conception architecturale en informatique et impliquant directement le facteur de visibilité. Ce qui suit constitue un recueil d'informations qui tentera de nous aider à une meilleure compréhension du phénomène de visibilité dans un théâtre et à identifier les variables qui se combinent pour ensuite les intégrer au modèle. Ce modèle servira de terrain d'exploration pour valider notre hypothèse qui se révélera à la lumière de la revue de littérature que nous présentons. Elle met l'accent sur les principales théories développées pour comprendre les processus cognitifs qui entrent en jeu lors de la conception d'un espace théâtral en tenant compte de la visibilité des spectateurs. Elle implique une sélection d'informations à retenir.

.2.2.3 Le cas de la modélisation déclarative

Plus proche de nos préoccupations, M-L. Nivet (1999) propose une approche utilisant la modélisation déclarative dont le processus se résume en trois étapes : la *description*, la *génération* et la *prise de connaissance*. La description est l'étape de saisie des propriétés de l'objet. La phase de génération se développe grâce à deux méthodes : la réduction de l'espace des solutions (raisonnement sur les propriétés de l'objet) et l'exploration de cet espace (production d'objets). Quant à l'étape de prise de connaissance, elle permet à l'utilisateur de visualiser les solutions et éventuellement de rendre intelligible le modèle de l'espace des solutions. (Nivet, 1999) L'approche géométrique déclarative présente toutefois certaines limites. Elles sont la conséquence de l'absence d'«un vocabulaire représentatif de la description sémantique, fondé sur des schèmes linguistiques non ambiguës, possédant une structure qui facilite la description de la scène, la gestion optimale des solutions générées et le temps de calcul.» (Popova, 2000)

Le cas de l'étude de M-L. Nivet (1999) «propose l'intégration de considérations d'accessibilité visuelle dans le projet». Elle envisage la modélisation des objets par l'énoncé de leurs propriétés : «conception par l'intention», indépendamment des modèles numériques qui les régissent. (Nivet, 1999). M-L. Nivet substitue l'expression «opérateur sémantique» de G. De Paoli par le terme «intention» qu'elle définit comme :

«L'expression, sous sa forme conceptuelle, d'une contrainte imposée ou non, influençant le projet. Par exemple, une intention visuelle sera exprimée sans avoir recours à la géométrie de la vision qui lui est sous-jacente : 'de cette place je veux voir la façade du bâtiment projeté.' » (Faucher et Nivet, 1998)

Un espace est conçu en fonction de ce que l'on voit à partir de l'espace à créer. Il y a d'abord interprétation de ce que l'on voit et comment le voir, puis, d'après le résultat convoité l'espace «observateur» sera déterminé. Cet espace sera désigné par le «volume géométrique de contraintes.» (Nivet, 1999) (Figure 12)

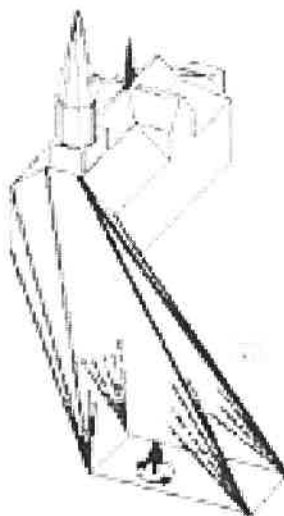


Figure 12. «Intention visuelle» : à partir du square, l'observateur doit pouvoir voir la façade principale de l'église. (Faucher et Nivet, 1998)

Pour modéliser cette «intention», M-L. Nivet (1999), présente une approche par la «simulation inverse»⁵. Selon elle, les phénomènes d'ensoleillement et de visibilité peuvent s'exprimer suivant le même principe : la notion de rayon. L'inversion des rayons solaires ou visuels permet de connaître la zone de l'espace engagée dans la résolution de contrainte. (Faucher et Nivet, 1998) (Figure 13)

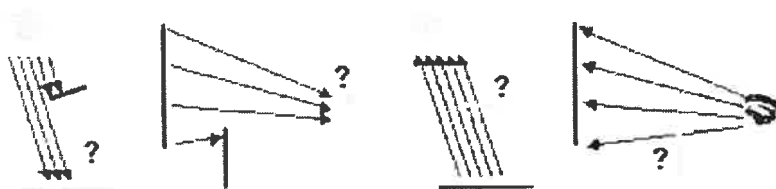


Figure 13. Rayon direct et inverse, visuel et solaire. (Faucher et Nivet, 1998)

L'environnement est d'abord défini. Puis, elle détermine les paramètres d'un observateur. En particulier, elle montre la méthode de construction du volume probable de vision qui représente le champ visuel potentiel d'un observateur localisé. L'observateur possédant un comportement d'observation et une localisation représente ce volume probable de vision. (Nivet, 1999)

⁵ La simulation inverse tire son nom de recherches effectuées en physique ou en mécanique, où par l'inversion des équations relatives à un phénomène précis, il est possible de connaître les paramètres d'entrée d'un système d'équation répondant à un état donné. (Faucher et Nivet, 1998)

composantes dont il faut tenir compte quand la visibilité est prise en compte dans un milieu architectural. Il est donc possible de distinguer des paramètres qui nous seront utiles pour notre recherche, à savoir la position de l'observateur qui correspond à l'emplacement d'un spectateur dans un théâtre. Le champ visuel potentiel d'un observateur soulevé par M-L. Nivet (1999), produit une corrélation avec l'angle de vision du spectateur. L'observation et l'analyse «du volume géométrique de contraintes», nous a permis de le comparer à l'«espace visuel» du spectateur. En introduisant sa théorie de la «simulation inverse» des rayons solaires, M-L. Nivet (1999) apporte une conception de la visibilité propre aux scientifiques. Nous avons cependant considéré sa méthode d'inversion pour élaborer une méthode afin de déterminer la position des sièges des spectateurs à partir de l'espace vu de la scène. Nous aurons l'occasion de détailler ce concept au courant de notre étude.

Finalement, la prise en compte de la visibilité lors de la conception d'un espace théâtral est en quelque sorte semblable au «savoir-faire à l'origine des objets conçus». (Iordanova, 2000) Ce «savoir-faire» est apparent aussi à travers les «opérateurs sémantiques» dont la visibilité, qui interviennent. Il serait souhaitable donc que la visibilité soit une contrainte à considérer et à intégrer au modèle, dès les premières phases de la conception d'un espace théâtral. Nous identifions les variables que nous venons d'extraire : **l'emplacement** et **l'angle de vision d'un spectateur**. C'est dans la perspective de déterminer des variables additionnelles que sera abordée la suite de cette recherche.

.2.2.4 Le cas de la relation entre les rayons lumineux et visuels

Nous faisons suite à la recherche exploratoire en examinant l'étude proposée par S. Houpert (2002). Celui-ci prend comme point de départ l'étude de M-L. Nivet (1999) que nous venons d'explorer. M-L. Nivet (1999) montre, qu'il est possible de prendre en compte des propriétés de l'objet telle que la visibilité dès les premiers stades d'une conception architecturale, en se basant sur des processus de simulation des phénomènes physiques qui conduisent souvent à une «géométrisation» du problème considéré.

S. Houpert (2002) écrit que les modèles résultant de la simulation des rayons solaires et visuels permettent l'analyse et l'évaluation du projet architectural, seulement lorsque ce dernier est achevé. Or au laboratoire CERMA (Centre de Recherche Méthodologique d'Architecture, Nantes), les chercheurs s'intéressent à résoudre les contraintes de visibilité en milieu urbain et cela, au moyen d'une méthode appelée «inversion des rayons lumineux et solaires.» Cette méthode est constituée par la construction de «volumes de contraintes». Pour réaliser cette tâche, ils utilisent les unions de pyramides, (Figure 15) : une telle approche consiste à générer un modèle qui représente un «volume de contraintes» aussi bien convexe que concave, en s'appuyant sur des solutions booléennes, pour résoudre la contrainte de visibilité, qui se concrétise en se basant sur la condition : «to see or not to see the sun» or « to see or not to see the target». La cible ou la «base» pourrait représenter un observateur qui regarde le côté opposé. L'ensemble de l'espace inclus entre ces deux surfaces réunies par les rayons visuels, constitue un volume complexe. (Houpert, 2002)

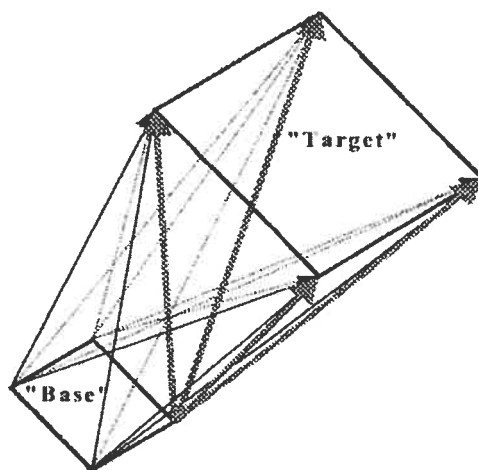


Figure 15. Représentation conceptuelle d'un modèle SVR (Sunshine, Visibility and Reflection : SVR model) : volume formé par les rayons reliant la partie «Base» à la zone «Target». (S. Houpert, 2002)

Le résultat de ces recherches a été l'expérience d'un modèle SVR (Sunshine, Visibility and Reflection : SVR model), (Figure 16), implanté à l'aide du logiciel *Autocad* et basé sur la méthode de la construction géométrique du «volume de contrainte». L'avantage de

cette méthode est qu'elle a été créée par des architectes pour des architectes. C'est aussi un outil qui peut intervenir comme assistant à n'importe quel moment de la conception architecturale. (Houpert, 2002)

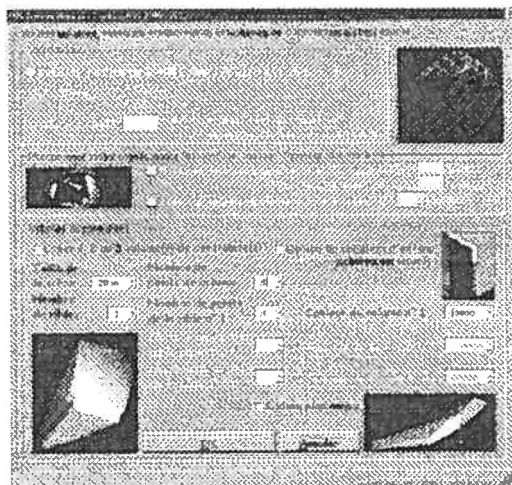


Figure 16. L'interface de l'utilisateur par rapport au SVR (Sunshine, Visibility and Reflection : SVR model). (S. Houpert, 2002)

La mise en place de cette méthode s'intègre dans un programme d'aide à la conception pour résoudre les problèmes architecturaux et urbains. L'expérience visuelle n'est pas pour autant une action statique. Elle implique le mouvement. Le spectateur qui regarde un édifice ou une scène quelconque dans un théâtre scrute continuellement tout ce qui l'entoure. Cette citation de Le Corbusier (1923) pourrait peindre cette idée :

«Quand, à l'École, on tire des axes en étoile, on s'imagine que le spectateur arrivant devant l'édifice n'est sensible qu'à cet édifice et que son œil s'en va infailliblement et reste exclusivement rivé au centre de gravité que ces axes ont déterminé. L'œil humain, dans ses investigations, tourne toujours et l'homme tourne toujours aussi à gauche, à droite, pirouette. Il s'attache à tout et est attiré par le centre de gravité du site entier. D'un coup le problème s'étend à l'entour. [...]» (Le Corbusier, 1923)

Après observation de ce cas, nous identifions une variable liée au rayon visuel. Nous notons le rapport entre le rayon visuel et le rayon lumineux soulevé par Houpert, mais nous écartons son application dans le contexte où notre recherche s'inscrit. Le rayon visuel se traduit par les propriétés relatives à la vision du **spectateur**, en particulier la hauteur de ses yeux par rapport à celle de la **scène**.

.2.2.5 Le cas du «théâtre du mouvement total»

Dans le cas d'une scène en milieu urbain, F. Sarradin, D. Siret et G. Hégron (2002) analysent le phénomène visuel et son impact sur l'architecture. Selon eux, il pourrait s'agir d'une forme, une couleur ou une modification de texture. Ils définissent un événement visuel comme étant un événement qui se produit dans le champ visuel lorsqu'on est en mouvement ou lorsque la scène est en mouvement. Cette notion de scène en mouvement a été développée par J. Polieri, avant-gardiste qui a imaginé en 1958 la forme idéale d'un théâtre qu'il a surnommé «le théâtre du mouvement total». (Polieri, 1999). Il explique comment son besoin de satisfaire des besoins de visibilité l'a guidé vers la recherche de solution et vers la réalisation d'une nouvelle architecture théâtrale au moment où il effectuait sa mise en scène :

«Adjustments took place from a more or less central position, in the stalls: I was obliged to work in «Italian-style» theaters, for the very good reason that there were no others. Once I finished directing, the fact of changing places, changing the angle of vision, turned out to be catastrophic. Everything I had adjusted with such great care collapsed. We had to start all over again. But we would have had to begin again, of course, for each seat in the stalls and, changing levels, for all the seats in the auditorium [...]» (Polieri, 1999)

Le résultat de ces réflexions a été la création du « Théâtre du mouvement total» de forme sphérique, (Figure 17) où Polieri a imaginé un nouveau genre de spectacle visible dans son intégralité mais différent pour chaque spectateur suivant son point de vue. Le théâtre est constitué d'un axe central autour duquel s'articulent des tribunes mobiles ou fixes, suspendues ; et auxquelles il est possible d'accéder par des escaliers et des ascenseurs. La scène à couronne sphérique est partagée en plans mobiles et dispose de tous les services nécessaires : loges d'artistes, services de scène, dépôts, etc. Il a été mis en exécution à l'occasion de l'exposition universelle d'Osaka en 1970.

À la lumière de cette observation du « Théâtre du mouvement total», nous pouvons conclure que **la forme d'un théâtre** est remise en question quand la visibilité des spectateurs est considérée. Nous pouvons donc retenir la forme d'un théâtre comme une variable qui sous-entend la variable scène. Cependant nous considérons la scène comme étant un espace fixe, bien que nous avons vu précédemment, qu'elle pouvait être mobile. Poursuivant notre recherche exploratoire, nous avons aussi constaté que J.

Polieri n'hésite pas à remonter les niveaux des sièges pour une vision plus globale de la scène du point de vue d'un spectateur. Une démarche qui met en valeur l'importance d'une variable à considérer dans la conception d'un espace théâtral : **la pente du théâtre.**

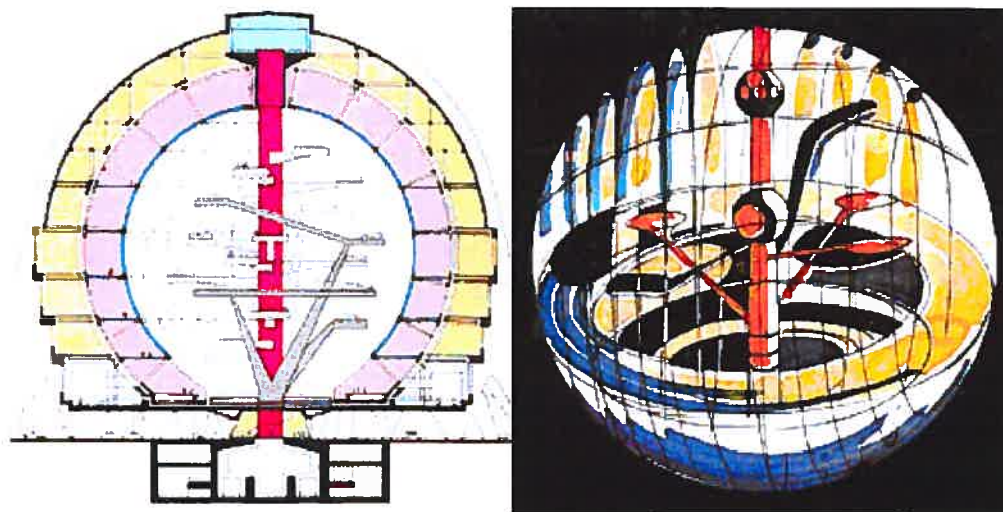


Figure 17. «Le théâtre du mouvement total», tel qu'imaginé par J. Polieri dans les années 50. En 1999, il est présenté comme un espace réalisable avec les technologies d'aujourd'hui. (J. Polieri, 1990)

.2.2.6 Le cas de la perception spatiale

Pour atteindre les objectifs définis, soit une méthode qui puisse tenir compte de la visibilité dans la conception d'un espace théâtral à l'aide de l'outil informatique, il est possible d'examiner une méthode d'analyse de l'accessibilité visuelle en milieu urbain dont l'auteur est F. Sarradin (2000). Ce dernier propose un moyen de développer un nouvel outil prenant en compte la dynamique de déplacement des observateurs de la manière suivante :

«On se base sur les connaissances existantes en matière de perception visuelle (études neurologiques et psychologiques), les méthodes de représentation du milieu urbain (projection sphérique, squelette de visibilité, analyse pittoresque, etc.) et l'analyse de la perception visuelle dans ce milieu (isovists, graphes de visibilité, étude de la forme du ciel, etc.).» (F. Sarradin, 2000)

En effet, F. Sarradin (2002) développe son approche en prenant comme point de départ

les peintres italiens de la Renaissance qui représentaient leurs objets en trois dimensions, procédé qui rappelle les images de synthèse d'aujourd'hui et qui expriment des événements visuels. Des événements visuels créés le long d'un parcours et qu'il réduit à des séquences de photos assemblées l'une à la suite de l'autre. Cependant, il n'en demeure pas moins que l'œil humain ne peut être assimilé à un appareil photo. (Sarradin, Siret, Hégron, 2002). Conscient de cet aspect insondable de la visibilité qui ne peut être totalement concrétisée, F. Sarradin (2002) remet en question le réalisme d'une représentation architecturale en considérant des méthodes qui traitent aussi bien «ce que nous voyons réellement» et de ce que «nous nous attendons à voir». Il soulève ainsi la contrainte de la perception visuelle qui varie dans le temps et dans l'espace et qui ne peut mener à une analyse visuelle ou un modèle réalisable à grande échelle. Il a eu donc recours à une méthode qui implique un principe développé par M-L. Nivet (1999) qu'elle décrit comme étant un outil de modélisation du champ visuel de l'être humain dans le contexte de la conception architecturale. Il a été proposé (Nivet, 1999) par Benedikt en 1979 sur la base des travaux de J. Gibson en 1950. L'ensemble des travaux se place dans un contexte bidimensionnel. L'espace tridimensionnel peut être obtenu par une extrusion du plan au sol.. Toutefois, cette méthode ne donne pas un niveau de résolution assez élevé, puisqu'il est difficile d'interpréter ce qu'une personne peut voir vraiment. (Sarradin, Siret, Hégron, 2002). En effet, selon R. Taton (1963)

« [...] L'œil, les yeux sont loin de fonctionner avec l'objectivité d'un appareil physique. La plupart des expériences concernant la vision relèvent de la psychologie [...]. Il semble très difficile, sinon impossible, d'isoler la vision brute, immédiate, de l'expérience visuelle que garde la mémoire, de la culture visuelle de l'individu considéré. » (Taton et Flocon, 1963)

La notion de visibilité sous-entend celle de la perception qui peut, comme l'a souligné R. Taton (1963), varier non seulement d'un individu à l'autre, mais aussi chez un même individu selon les conditions physiques et psychiques de l'expérience. Conscients que la perception est un paramètre important mais complexe, sa prise en compte est exclue de notre étude des variables. Il en est de même pour la lumière que nous situons indépendamment de cette étude. Nous délimitons ainsi notre champ d'étude des paramètres à identifier à la suite de notre recherche exploratoire.

.2.2.7 L'identification des variables et l'hypothèse

Nous avons exploré différentes méthodes entreprises dans le cadre de recherches sur la prise en compte de la visibilité en milieu architectural, avec l'outil informatique comme principal assistant. Nous avons identifié les variables à considérer lors de la conception d'un espace théâtral en fonction de la visibilité des spectateurs. Nous allons à présent clore la recherche exploratoire en regroupant les variables extraites à travers un schéma (Figure 18) qui décrit les relations entre les différents intervenants du programme que nous allons nous fixer. Les paramètres sélectionnés sont les suivants : la forme d'un théâtre, la portée visuelle, la pente de la salle, l'emplacement du siège, l'angle de vision et la scène. Ces paramètres réunis représentent l'«opérateur visibilité». Cet opérateur, dans le contexte d'un espace théâtral, conditionne la relation entre le spectateur et la scène. Dans la partie qui suit, nous allons définir chacune de ces variables considérées du point de vue de notre recherche.

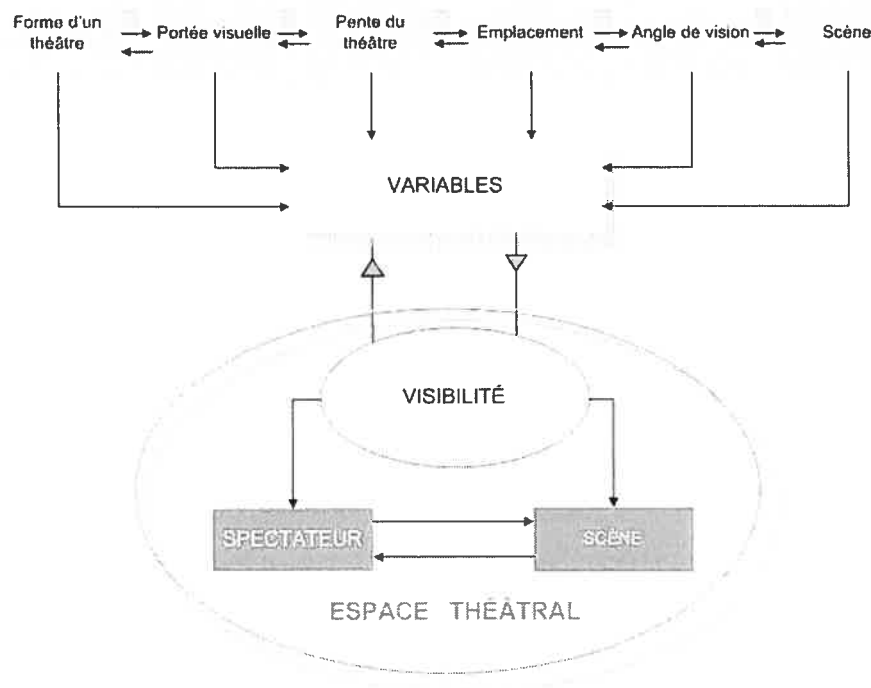


Figure 18. Schéma des variables qui entrent en jeu dans le cas d'étude de la visibilité dans un théâtre

L'objectif de la recherche, rappelons-le, est de proposer un exemple de modèle informatique capable d'assister le concepteur d'un espace théâtral dans le but d'améliorer

la visibilité des spectateurs.

L'une des caractéristiques d'une recherche exploratoire est qu'elle n'inclut pas une hypothèse dès le départ. Elle suppose sa formulation après «une série de questions ou d'incertitudes qu'on veut cerner et délimiter pour aboutir à la fin à une redéfinition de cette interrogation sous forme d'hypothèse(s)». La recherche exploratoire a permis d'identifier les variables qui sont «des faits observés, et c'est par cette observation qu'on parviendra à vérifier les hypothèses (ou d'éclairer l'interrogation qui peut tenir lieu d'hypothèses dans une recherche exploratoire).» (Davidson, 2001)

Or nous avons déterminé une hypothèse de départ. La recherche exploratoire entreprise a permis de remodeler cette hypothèse qui s'est construite après l'observation de certaines méthodes de travail qui unissent architecture et visibilité. En reformulant l'hypothèse de départ, «il est possible, dans un théâtre, de reproduire l'espace visuel, sous forme de modèle informatique manipulable. Il pourra déterminer la position des sièges et faciliter la prise en compte de la visibilité dans un espace théâtral.»

PARTIE 3 MÉTHODOLOGIE

Nous avons examiné, en deuxième partie, les possibilités informatiques actuelles qui nous ont permis d'extraire les paramètres à retenir dans le cas particulier de ce travail. Nous poursuivons notre recherche en associant notre approche au processus de design de J. Zeisel (1981). (Figure 19) D'après J. Zeisel (1981), il est possible de comparer les décisions de nos recherches par rapport à d'autres interprétations du même type et aux données communes. Toujours selon le chercheur, si nous savons comment transférer les connaissances acquises à d'autres cas d'étude sans délibérément créer des problèmes non identifiés et qui dépassent ceux résolus, nous pourrions améliorer notre propre action. Le principe de la méthodologie proposée par J. Zeisel (1981) se base sur le questionnement du chercheur. Nous avons abordé notre recherche en adoptant son procédé.

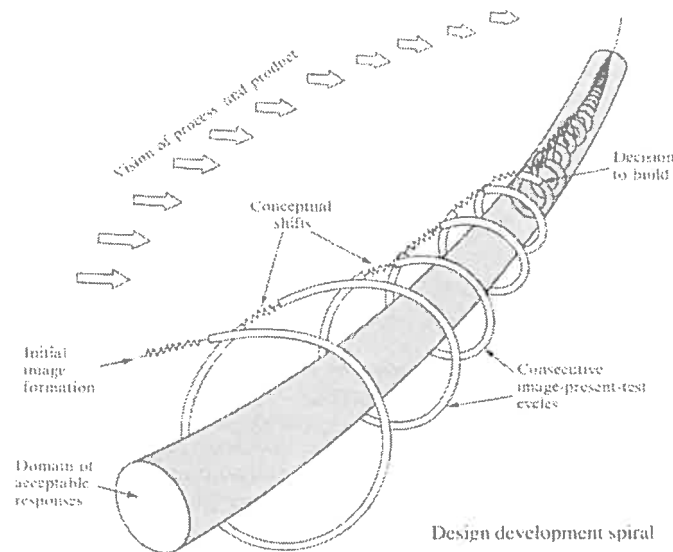


Figure 19. Schéma illustrant le processus de design de Zeisel. (J. Zeisel, 1981)

La recherche selon J. Zeisel (1981) peut être partagée, testée et comparée à d'autres recherches de manière à pouvoir cerner le problème. Et quand le problème a été clairement identifié, il propose une recherche qui peut le résoudre. En d'autres termes,

c'est un type d'approche qui laisse des voies ouvertes vers l'exploration en partageant les méthodes et en présentant une possibilité d'évaluation des résultats pour résoudre des problèmes et savoir comment les utiliser. Ce processus facilite aux chercheurs l'exploration d'expériences utiles qui contribuent à l'avancement de la recherche.

Nous examinons en cette troisième partie les approches possibles pour la modélisation informatique d'un espace théâtral en vue d'optimiser le nombre de sièges des spectateurs en fonction de la visibilité. Nous développons par la suite les paramètres que nous avons identifiés et que nous résumons sous forme de tableau qui servira de référence dans notre travail de modélisation. Ces variables rappelons-le, ne sont pas exhaustives, mais elles répondent aux besoins spécifiques de modélisation d'un espace théâtral en fonction de la visibilité dans le contexte de notre recherche. Cette démarche nous permettra d'envisager une méthode de modélisation qui puisse répondre à l'hypothèse de recherche émise en la validant. À ce sujet, J.P. Deslauriers (1991) écrit qu'il est possible que la méthode de recherche soit capable de répondre à la question de recherche posée. Il s'agit, à partir d'une étude de cas, de montrer que le modèle numérique mis en place peut intégrer l'opérateur visibilité. Il pourra contribuer à améliorer la visibilité des spectateurs dans un espace théâtral.

Chapitre .3.1 OBJECTIFS DE LA MODÉLISATION

.3.1.1 Approche à la modélisation

Le processus de modélisation a été évoqué dans la première partie de notre recherche, de même que les méthodes de modélisation aussi, à travers la recherche exploratoire en deuxième partie. Nous allons à présent, tenter de mettre ses principes en application dans le cadre de notre méthode de travail. Notons que le terme modélisation dans cette partie de la recherche prend un sens particulier.

Selon I. Iordanova (2000), la modélisation d'après certaines définitions, représente le passage de l'objet externe à l'objet interne. C'est la représentation d'un objet déjà existant en réalité après une saisie métrique des dimensions. En particulier dans un contexte de conception architecturale, ce sont les images mentales qui constituent le modèle. C'est un processus qui permet de visualiser ou de «matérialiser» des concepts, des caractéristiques et des propriétés souvent non géométriques et plutôt sémantiques. La figuration se définit sur la base d'actions en rapport les unes aux autres et dont le fonctionnement peut constituer le caractère complexe du modèle. (Iordanova, 2000) Et d'après T. Tidaï (1996), il faut distinguer entre structure et façon d'organiser des actions. C'est cette distinction qui permettra d'établir des méthodes afin de réaliser les objectifs. Il souligne aussi le fait de mettre en place une «façon d'instrumenter» la modélisation d'action proposée. Pour cette instrumentation, il propose le choix d'un langage, un langage symbolique et un système géométrique. Or, nous avons, à travers notre recherche exploratoire de la partie 2, effectué un survol des méthodes comme la méthode analytique et la systémique. Et nous étions arrivés à la conclusion que le problème de la visibilité dans les théâtres est perçu comme une «complexité». Cependant I. Iordanova (2000) l'associe à une approche systémique. Elle écrit qu'une approche systémique de la modélisation pourrait intégrer les aspects visuels, logiques et sémantiques de l'objet de la communication dans un modèle. Nous cherchons maintenant à construire un modèle capable de produire des figurations par des maquettes numériques pouvant répondre aux finalités différentes des acteurs.

Cette proposition offre l'avantage aux intervenants au processus, d'agir et de réviser les

finalités ou des unités de connaissances qui génèrent le modèle, sans devoir redéfinir le modèle lui-même. (Iordanova, 2000)

Pour ce faire, nous avons, dans la recherche exploratoire, évoqué le langage symbolique. Il se divise, rappelons le en trois grandes familles : les langages impératifs, les langages orientés objets et les langages fonctionnels. Pour notre travail de modélisation et sur la base de notre recherche exploratoire, nous considérons le langage fonctionnel *Scheme* qui offre «la possibilité pour certaines fonctions de retourner comme valeurs des fonctions». T. Tidaï (1996) définit aussi une fonction en programmation fonctionnelle comme étant la définition écrite donnée à une action qui retourne un résultat après son évaluation par un ordinateur. Selon T. Tidaï (1996), le langage *Scheme* offre la possibilité d'obtenir une nouvelle action qui peut retourner un autre résultat qui va être à son tour évalué. En résumé, le langage *Scheme* donne la possibilité de définir une action de façon à pouvoir redéfinir une autre. Il intègre le concept de la récursivité que nous avons déjà défini. Et il exprime la façon dont une action peut être réalisée et la relation qu'elle a avec d'autres.

.3.1.2 Étude préliminaire

La partie qui suit, est une étape préliminaire du travail de modélisation impliquant un langage fonctionnel tel que *Scheme*. Cette démarche est expérimentale. Elle ne constitue en aucun cas une solution au problème posé, en l'occurrence celui de la visibilité dans les théâtres. Nous avons choisi de débiter nos expérimentations par cet exemple en particulier qui a une fonction purement didactique. (Figure 20) Elle représente quelques gradins qui ont été associés à des ellipsoïdes évidés en trois niveaux. Dans le cas de notre expérience ci-dessous, il s'agit de faire l'union de ces trois niveaux qui représentent un ensemble de gradins. Nous sommes à un stade expérimental qui nous a permis de produire un code descriptif à l'aide du langage fonctionnel *Scheme*. Par la suite, ce code a été soumis à un système géométrique volumique⁶. Ce système permet des opérations arithmétiques comme l'addition, la soustraction et la multiplication sur

⁶ SGDL Systèmes : Solid Geometry Design Logic Systèmes est un nouveau moteur géométrique de type purement fonctionnel, bâti sur une grammaire géométrique volumique. Celle-ci s'appuie sur la théorie des fonctions primaires récursives. (<http://www.sgdl-sys.com>)

comme une sphère, un cylindre ou un cône. Il offre donc un mécanisme de construction simple.

En ayant recours à un langage fonctionnel comme *Scheme*, nous suivons les pas de recherches entreprises dernièrement. Cette tendance étant vers la «modélisation des actions et du processus architectural. En effet, P. Boudon (1988), soutient ce courant qui attribue au modèle ses propriétés, tant géométriques qu'immatérielles :

«Figurer un objet architectural c'est le présenter à son regard et son esprit de telle façon qu'on puisse appréhender un aspect choisi. Un peu à la manière dont, pour explorer un modèle réduit, la main l'éloigne du regard pour en avoir une vision distanciée, l'élève à la hauteur des yeux pour en saisir la composition ou en saisir la structure, le pose sur une table pour tourner autour et le parcourir des yeux. N'oublions pas toutefois que pour l'architecte, l'objet n'existe pas, il est à inventer. » (Boudon, 1988)

CODE DES FONCTIONS (*Scheme*) POUR LA RÉALISATION DE GRADINS

```

(load "gradin.scm")
(define theatre
  (lambda (r1 r2 lg ht)
    (let
      (
        (l1 lg)
        (l2 (/ (* 2 lg) 3))
        (l3 (/ lg 3))
        (h (/ ht 3))
      )
      (DLuni
        ; niveau 0
        ; (DLatt
        ;   (SDcolRGB (vector 1 0 0 1))
        ;   (gradin r1 r2 l1 h)
        ; )
        ; niveau 1
        (DLatt
          (SDmatrep
            (SGmattrl
              (vector 0 h 0 1)))
          ; (SDcolRGB (vector 0 1 0 1))
          (gradin r1 r2 l2 h))
        ; niveau 2
        (DLatt
          (SDmatrep
            (SGmattrl
              (vector 0 (* 2 h) 0 1)))
          ; (SDcolRGB (vector 0 0 1 1))
          (gradin r1 r2 l3 h))
        )
      )
    )
  )
  (PIdraw (theatre 100 200 75 50))

```

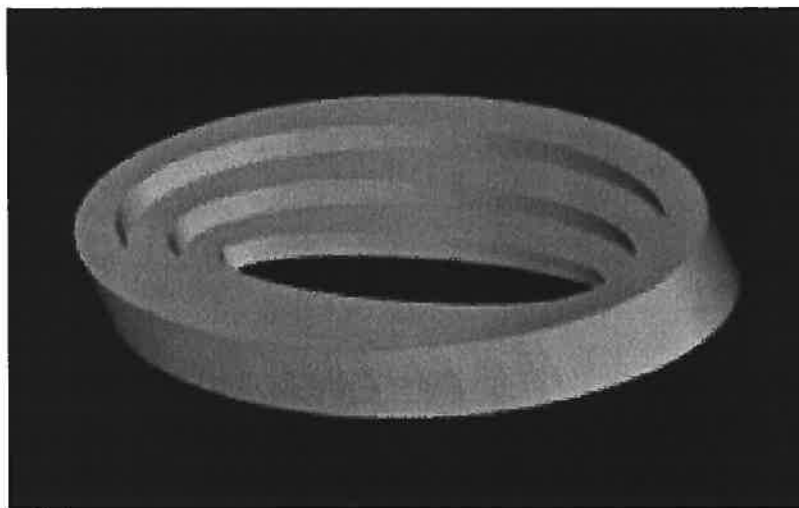


Figure 20. Exemple du code des fonctions de réalisation de quelques gradins, à l'aide d'un langage fonctionnel : *Scheme* et image visualisée à l'aide de SGDL système.

Notons aussi que *Scheme* est un langage couramment utilisé par le Groupe de Recherche en Conception Assistée par Ordinateur de l'Université de Montréal (GRCAO) dans le cadre de nombreuses recherches. Parmi elles, nous citons en particulier une recherche qui se rapproche de notre champ de travail. Il s'agit d'un travail de mémoire intitulé «La prise en compte de la lumière naturelle pendant la conception architecturale à l'aide des outils informatiques», effectué par G. Hernandez (2003). Nous considérons cette recherche en particulier car elle essaye de résoudre les problèmes reliés au sujet de l'ensoleillement en proposant un assistant qui permet de les intégrer. L'ensoleillement sous-entend la notion de rayon. Comme nous l'avons exploré à travers le travail de M-L. Nivet (1999), il existe un rapprochement de champs d'étude entre le domaine de l'ensoleillement et celui de la visibilité. Rappelons-le, tous deux sont supportés par la notion de rayons. (Nivet, 1999).

Afin de réaliser son objectif d'intégrer la lumière naturelle à un modèle, G. Hernandez (2003) propose dans un premier temps d'établir les variables qui interviennent lorsque la lumière naturelle occupe un espace architectural et contribue à sa qualité de confort. Puis dans un deuxième temps, il définit ce confort en mettant en relation les qualités de la lumière dans des situations architecturales particulières. Finalement sa méthode vise à réaliser un modèle qui puisse assister la conception architecturale lorsque la lumière naturelle est prise en compte.

La démarche entreprise dans ce travail sur l'ensoleillement rejoint les lignes principales de notre sujet. Nous avons aussi procédé en déterminant les variables qui sont mises à contribution lorsque le phénomène de visibilité est mis en jeu. Il considère l'intégration de la lumière naturelle dans un modèle comme une modélisation d'actions. Nous allons également tenter de produire un modèle qui puisse intégrer la prise en compte de la visibilité dans un espace théâtral. Le cas des recherches entreprises par G. Hernandez (2003) étant expérimenté et validé, nous nous appuyons sur ces acquis.

Nous poursuivons notre étude en proposant deux approches de modélisation : une

première à l'aide du logiciel *Autocad*. Et, une deuxième approche qui sera réalisable à l'aide d'un langage fonctionnel *Scheme*, associé à un moteur géométrique.

Chapitre .3.2 APPROCHE 1 : EN INFORMATIQUE GRAPHIQUE

Nous entreprenons dans la partie qui suit une expérience qui nous aidera à mieux définir nos objectifs. Pour cela, nous considérons l'exemple de l'amphithéâtre de Thysdrus. (II e siècle apr. J.-C.) Nous commençons notre démarche en présentant ce théâtre et en expliquant les raisons qui nous ont amenés à faire ce choix. Par la suite nous le mettons à l'épreuve à travers une première expérience à l'aide d'un logiciel type *Autocad*.

Ayant expérimenté une approche de modélisation à l'aide de cet outil, nous prenons en considération les images obtenues afin de mieux cerner nos objectifs de modélisation. En effet ces images serviront comme point de départ pour fixer les exigences aux quelles devra répondre le modèle que nous allons décrire et qui sera réalisé à l'aide d'un langage type *Scheme*. Nous abordons ainsi, la méthodologie susceptible de nous amener à réaliser l'objectif visé; celui de créer un modèle informatique qui va pouvoir servir comme aide durant un processus de conception d'un espace théâtral en fonction de la visibilité et en optimisant la position des sièges.

.3.2.1 Analyse d'un espace théâtral

Comme exemple de théâtre, celui de l'amphithéâtre romain de Thysdrus (II e siècle apr. J.-C.), de forme elliptique est pertinent. C'est un amphithéâtre qui a fait l'objet d'une étude de la visibilité, effectuée par J-C. Golvin. (1988)

Dans son ouvrage intitulé «L'amphithéâtre romain», J-C. Golvin (1988) fait remarquer que l'adoption de la forme elliptique eut pour conséquence inévitable une différenciation très nette de la qualité des places en fonction de leur position relative. (Golvin, 1988) En observant cette étude de J-C. Golvin (1988), il apparaît que les Romains, dans l'évolution de l'architecture de l'amphithéâtre, ont abandonné la forme circulaire pour la forme elliptique pour des raisons de visibilité. (Figure 21) Mais la

visibilité n'est pas l'unique raison qui a conduit à cette évolution de la forme de l'arène et de l'amphithéâtre. L'arène elliptique dispose de deux caractéristiques essentielles : son allongement et sa courbure. Dans une arène oblongue, le spectacle a tendance à s'étaler spontanément dans le sens de la longueur et il apparaît de ce fait moins confus et plus facile à observer pour la majorité des spectateurs. De plus, la courbure de l'arène pouvait s'expliquer par l'une de ses fonctions principales, celle de permettre «la parfaite liberté d'évolution des combattants».

Il était coutume que les spectacles de l'époque se caractérisaient par le mouvement défini par sa vitesse et sa direction. Une horizontalité de l'arène ainsi qu'une courbure pouvaient répondre aux exigences des spectacles qui se déroulaient alors dans l'amphithéâtre romain. (Golvin, 1988)

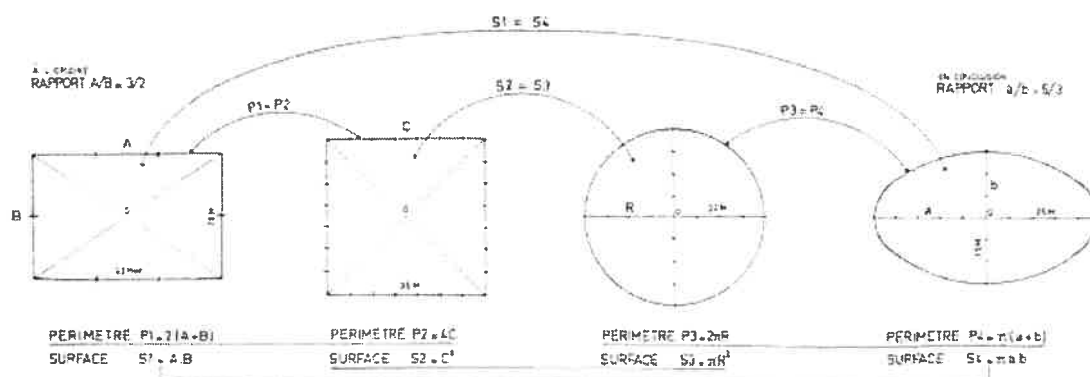


Figure 21. Transposition de l'arène primitive oblongue à l'arène elliptique. Relations mathématiques entre les figures. (J-C. Golvin, 1988)

La nature de la forme de l'arène était déterminée par le rapport : a/b (a et b étant les valeurs des axes de l'ellipse constituant la scène). Et les autres dimensions de l'amphithéâtre étaient prises en fonction d'une variable de base. La répartition des espaces répondait à des équations qui permettaient de mettre en rapport toutes les dimensions. Par exemple, un amphithéâtre de forme elliptique correspondait à l'équation suivante : $a/b = 5/3$ (Figure 22)

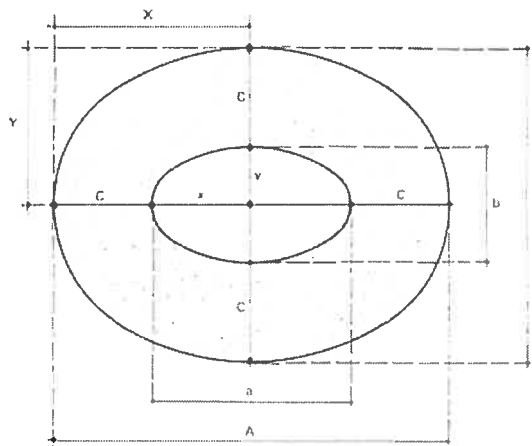


Figure 22. Dimensions de l'amphithéâtre romain elliptique : a et b étant les axes de l'arène. (J-C. Golvin, 1988)

Le plan de l'amphithéâtre, (Figure 23) sur lequel cette analyse a été effectuée, illustre les variations de la valeur du confort visuel à partir d'une numérotation. L'auteur de cette recherche, J-C. Golvin (1988), explique comment autour d'une arène circulaire, toutes les places situées à un même niveau étaient identiques et que ce n'était pas le cas autour d'une arène elliptique ; car les spectateurs placés au voisinage du petit axe voyaient bien mieux le spectacle que ceux qui se trouvaient aux extrémités du monument.

À partir de cette constatation, J-C. Golvin (1988) établit une sorte de carte indiquant la valeur de chacune des places en fonction de la position, en numérotant les différents *cunei de la cavea* sur la base de deux critères : leur éloignement du petit axe et leur éloignement par rapport à l'arène. En fonction de leur éloignement du spectacle, la valeur des places diminuait ensuite de bas en haut. L'ensemble des plus mauvaises correspondait aux extrémités de la *cavea*, mais celle-ci ne représentaient au total que le quart de la superficie des gradins. (Golvin, 1988)

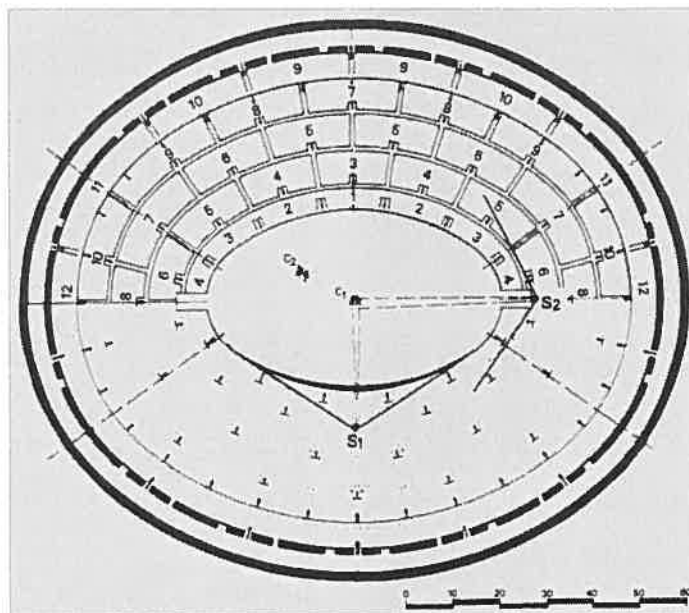


Figure 23. Perception visuelle du spectacle exprimée sur le plan de l'amphithéâtre de Thysdrus (II^e siècle apr. J.-C.), rénové entre 1973 et 1976, Tunisie. Différence de la qualité des places dans la *cavea* elliptique. (J.-C. Golvin, 1988)

J.-C. Golvin (1988) en vient ainsi à la conclusion que les trois quarts des spectateurs pouvaient donc, dans une *cavea* elliptique, voir le spectacle de plus près et mieux qu'ils n'auraient pu le faire dans une *cavea* aussi grande mais de forme circulaire. En d'autres termes, c'est la visibilité des spectateurs qui a conditionné la forme de l'amphithéâtre romain.

Ayant pris en considération l'étude, mentionnée ci-dessus et qui se rapproche de notre champ de travail, nous avons entrepris d'expérimenter un modèle de cet amphithéâtre.

.3.2.2 Traduction informatique

Le logiciel *Autocad* a été d'abord adopté comme outil de travail pour la réalisation du modèle de l'amphithéâtre de Thysdrus (II^e siècle apr. J.-C.) en respectant les dimensions qui répondent à des équations correspondantes aux proportions. La construction du modèle de l'amphithéâtre s'est faite après étude géométrique de son plan. Nous avons d'abord procédé à la construction de deux ellipses représentant la

scène et l'espace public en respectant les rapports a et b des axes selon les normes établies par les Romains. Nous avons ensuite construit les axes qui découpent transversalement les espaces pour constituer les couloirs de passage entre les gradins. Ces axes se rejoignent en des points spécifiques de l'amphithéâtre, comme nous pouvons le constater dans la figure 23 où les axes convergent vers le point S1. Une fois les axes définis, nous déduisons les gradins qui se regroupent par bloc autour de la scène. J.-C. Golvin (1988) avait attribué des chiffres pour exprimer la qualification visuelle.

Dans le cadre de notre travail, nous avons choisi de substituer les chiffres par des couleurs qui répondent à une légende. Cette légende représente le rapport de visibilité qui appartient à chaque groupe de gradin tel que défini par les Romains. Le confort visuel de chaque groupe de gradin, suivant sa qualité, a été exprimé par des couleurs différentes à la manière de la numérotation de J.-C. Golvin. (1988)

3.2.3 Le modèle informatique résultant

La construction du modèle à l'aide du logiciel *Autocad* s'est effectuée en traçant d'abord les axes qui convergent en des points communs et selon lesquelles se construisait l'amphithéâtre romain. (Figure 24)

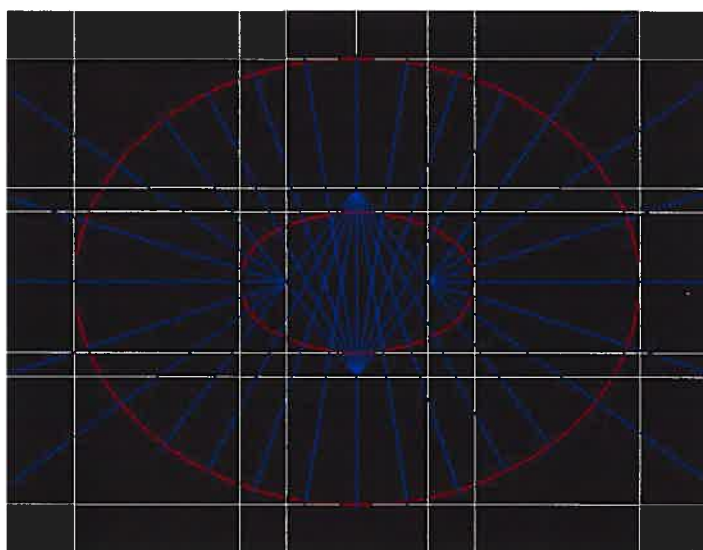


Figure 24. Construction du modèle informatique de l'amphithéâtre de Thysdrus Tunisie, (II e siècle apr. J.-C.) obtenu à l'aide du logiciel *Autocad* à partir des axes principaux.

Par la suite, les gradins ont été représentés par des ellipses concentriques comme dans la figure 25.

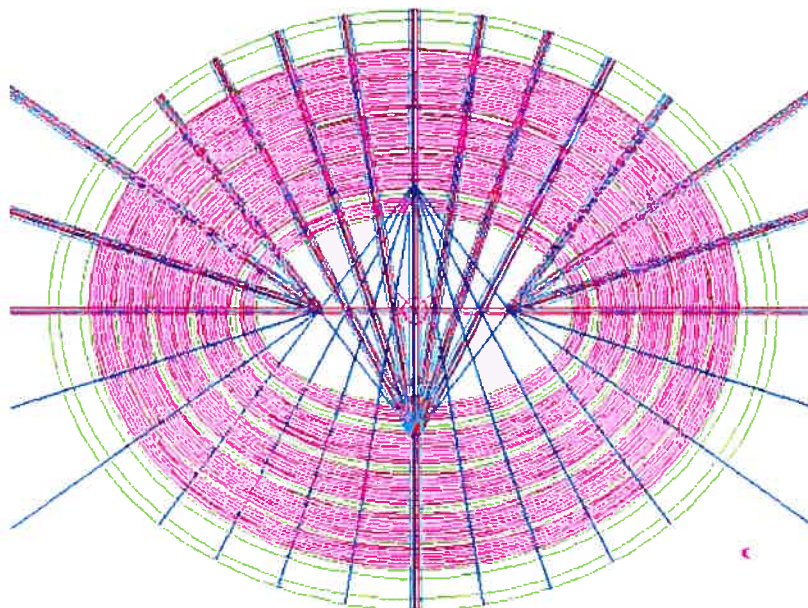


Figure 25. Construction des gradins de l'amphithéâtre de Thysdrus Tunisie, (II^e siècle apr. J.-C.) autour de l'arène.

Nous avons ensuite procédé à un essai d'extrusion (Figure 26), en divisant les espaces de gradins en suivant les axes de construction tel que les Romains ont établi leurs bases et normes de construction. Les proportions $a/b = 5/3$ ont été appliquées dans la construction du théâtre de Thysdrus, où $a = 64.50$ m et $b = 38.70$ m (Figure 27)

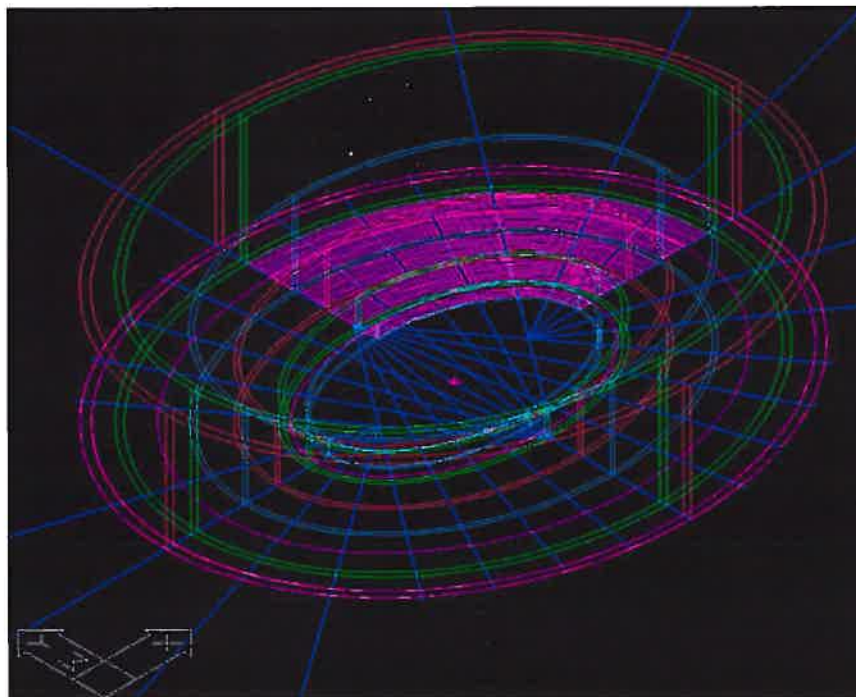


Figure 26. Début d'extrusion du modèle

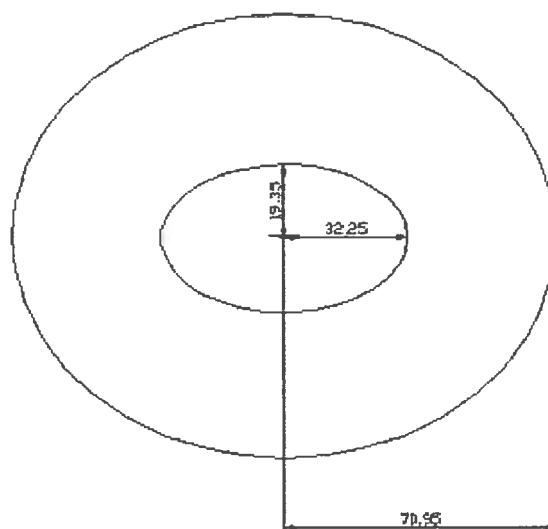


Figure 27. Détails des proportions de l'amphithéâtre correspondant à l'équation $a/b = 5/3$

Nous poursuivons notre étude en prenant en considération les données dont on dispose dans le cas de cet amphithéâtre, à savoir sa coupe qui est illustrée à travers la figure 7 exposée dans la première partie ; elle montre, rappelons-le, l'effet du redressement de la pente en faveur de l'amélioration de l'angle de vue des spectateurs. (Golvin, 1988) En

nous basant sur cette coupe nous identifions les hauteurs de la scène et des gradins, données qui vont nous servir à l'extrusion du plan de l'amphithéâtre et qui sera visualisé à travers des images. (Figure 28 et 29).

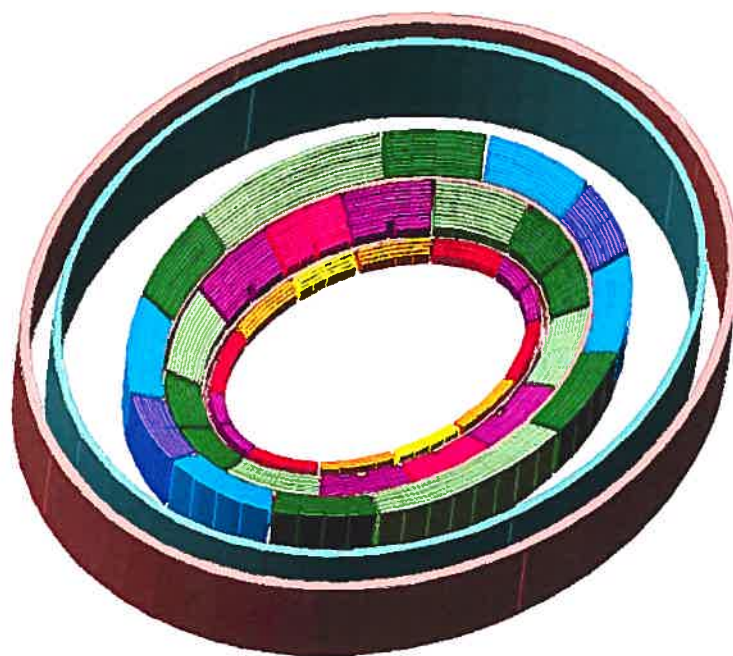


Figure 28. Modèle de l'amphithéâtre romain de Thysdrus (II^e siècle apr. J.-C.), réalisé à l'aide du logiciel Autocad et illustrant, par les couleurs, la qualification du confort visuel.

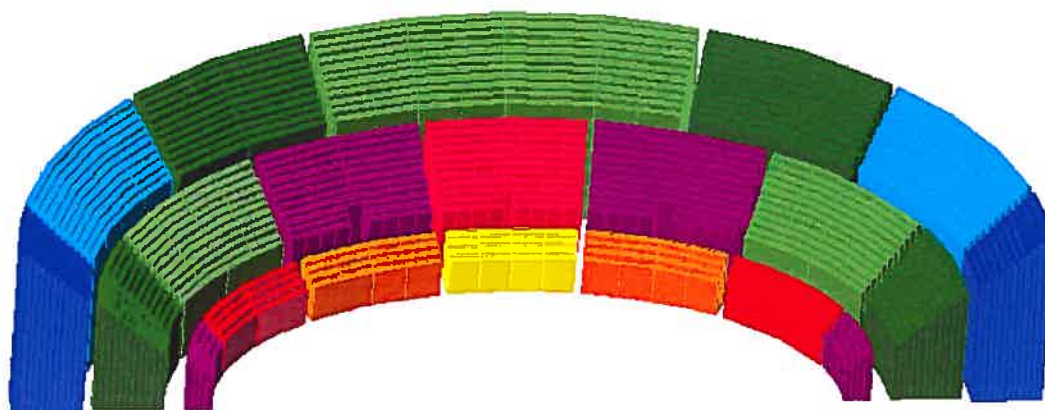


Figure 29. Coupe de l'amphithéâtre de Thysdrus (II^e siècle apr. J.-C.)

Le tableau, (Figure 30) regroupe les différentes catégories de visibilité, désignées par

des chiffres selon J-C. Golvin (1988). Nous avons associé ces chiffres à des couleurs distinctes comme une légende qui permet une classification de la visibilité des spectateurs. Ce tableau explique les différents degrés de visibilité par rapport à un bloc de gradins. Or, pour l'application de notre objectif de recherche nous voulons avoir l'information sur la visibilité par rapport à chaque siège.








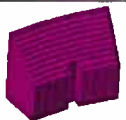




1	2	3	4	5	6	7	8
							
							

Figure 30. Tableau regroupant les résultats de l'analyse de J-C. Golvin, en triant les couleurs selon une numérotation qui varie de 1 à 8. Le chiffre 1 désignant les places caractérisées par la meilleure visibilité, dans un ordre décroissant allant jusqu'à 8.

.3.2.4 Discussions et conclusions

Les images illustrent un volume tridimensionnel capable d'inclure les variables que nous avons entrepris d'identifier précédemment. En effet, chacune de ces variables élaborées dans notre modèle théorique de la figure 18, la forme d'un théâtre incluant la scène, la portée visuelle, la pente, l'emplacement du spectateur et son angle de vision ont été prises en compte dans l'étude de J-C. Golvin (1988) et de surcroît dans la construction de notre modèle informatique à l'aide d'*Autocad*. Les aspects de cette étude de l'amphithéâtre de Thysdrus (II^e siècle apr. J.-C.), effectuée par J-C. Golvin (1988), nous permettent donc d'établir une similitude avec notre étude sur les variables qui interviennent dans la conception d'un espace théâtral en fonction de la visibilité.

De plus, l'outil informatique a permis de produire une image graphique qui donne une qualification du confort visuel à travers des couleurs qui répondent à une légende. Mais le résultat est figé et ne permet pas d'opérer des changements sans toucher à la totalité

des composantes du modèle. Malgré le fait qu'il soit possible d'extraire des attributs, des quantités, de procéder à des images de synthèse ou à des animations, l'exploitation demeure limitée. (Guité, Parisel, 2000)

La manipulation possible du modèle est assez restreinte, car si on veut apporter des modifications particulières, il faudra en apporter à l'ensemble du modèle. Tout le travail est alors à refaire. Notre expérimentation aurait pu se poursuivre en utilisant *Autolisp*, le langage fonctionnel d'*Autocad*. C'est un outil qui pourrait permettre de développer le modèle et d'interagir avec lui selon nos objectifs. En effet, *Autocad*, à l'aide de son langage fonctionnel *Autolisp*, est un outil qui gère aussi bien le 2D que le 3D. Il permet aussi de programmer des actions, de préciser des conditions et de construire en 3D. (A. Semlali, 2001)

Chapitre .3.3 APPROCHE 2 : TRAITEMENT DES VARIABLES

La proposition de modélisation de l'amphithéâtre de Thysdrus (II^e siècle apr. J.-C.) à l'aide du logiciel *Autocad*, a permis d'obtenir un résultat intéressant mais non modifiable à moins d'avoir recours aux langages fonctionnels, type *Scheme* ou *Autolisp*. L'approche à l'aide d'*Autocad* est une voie de solution, elle donne accès à un modèle intégrant les variables que nous avons retenues. Les images résultantes donnent une idée de l'appréciation du confort visuel par rapport à un bloc de sièges. Or notre objectif est de pouvoir attribuer une appréciation de la visibilité relative à chaque siège. Nous pouvons améliorer le résultat obtenu dans le cadre de cette première expérience en explorant d'autres langages informatiques. Ayant expérimenté cette première approche nous introduirons par la suite le modèle informatique recherché et répondant à l'objectif de notre recherche.

.3.3.1 Objectif

L'objectif de la recherche, est de proposer un exemple de modèle informatique capable d'assister le concepteur d'un espace théâtral dans le but d'améliorer la visibilité des spectateurs. En vue de réaliser cet objectif et sur la base de notre première approche de modélisation exprimée ci-dessus, il s'agit de disposer les sièges d'une façon optimale et de les classer, en fonction de la visibilité des spectateurs.

La problématique nous a permis de mieux comprendre l'environnement théâtral d'une part, et d'autre part d'identifier les aspects qui sont retenus dans une modélisation informatique d'un théâtre pour ses qualités visuelles. Puis, une recherche exploratoire nous a permis de dégager des pistes quant aux aspects à prendre en compte pour la définition des variables qui interviennent dans la conception d'un théâtre en fonction de la visibilité. Cette étude nous a permis d'extraire les paramètres qui nous ont paru les plus pertinents. Le tableau (Figure 36) représente les différentes étapes qui mènent à la traduction du phénomène de visibilité à travers des variables prédéfinies grâce à la

recherche exploratoire effectuée. Dans le cas de notre étude, le choix des variables, étant très diversifié, nous nous sommes limités à retenir celles qui ont un lien direct avec la visibilité. Elles seront combinées afin de produire un modèle d'un espace théâtral conçu en fonction de la visibilité et qui répondra aux objectifs de notre recherche. Cette validité interne, permettra de réaliser une conception d'un espace théâtral en optimisant la position des sièges.

.3.3.2 Le modèle informatique recherché : les variables

Nous disposons désormais de l'ensemble des variables nécessaires à la prise en compte de la visibilité dans la conception d'un espace théâtral. Nous allons à présent, développer ces variables considérées du point de vue de notre recherche et qui sont, en rappel les suivantes : la forme d'un théâtre incluant la scène, la portée visuelle, la pente, l'emplacement du spectateur et son angle de vision.

.3.3.2.1 *Forme d'un théâtre*

Comme nous avons pu le constater à travers notre recherche, la forme d'un théâtre est déterminante dans une modélisation informatique d'un espace théâtral. Pour les fins de cette étude, le modèle de l'espace théâtral à produire est réduit à une expérience qui prend en considération un ensemble de gradins et une scène fixe. Ces gradins multipliés peuvent se répartir dans le cas d'un espace plus grand, selon les conditions géométriques qui caractérisent l'espace théâtral. Nous limitons l'étendue de notre étude à un exemple simple qui pourra être élaboré dans le cas de formes théâtrales plus complexes. Nous considérons l'exemple d'une forme qui peut changer en variant la distance du point de fuite de ses côtés. Cette méthode sera développée lors de l'étude de cas proposée.

.3.3.2.2 *Portée visuelle*

En effectuant notre étude, nous avons conclu que la visibilité d'un spectateur dépend de

la distance qui le sépare de la scène. Ce facteur est désigné par le terme «portée visuelle». La portée visuelle est la distance entre l'œil du spectateur et un point de la scène, dans l'axe médian. Selon E. Neufert (1983), il existe 2 types de théâtre à considérer. D'abord les petites salles qui sont inférieures ou égales à 25m et où il est commun de distinguer les détails des expressions des visages et petits gestes distincts. Et ensuite les grandes salles, où la portée visuelle peut atteindre les 32 à 36m et qui permettent au spectateur d'entrevoir les gestes et mouvements de chaque personnage distincts. Dans cette catégorie de grandes salles s'ajoutent les théâtres en plein air qui sont généralement inférieurs ou égaux à 70 m. Compte tenu de ces mesures, nous prenons en considération une portée visuelle d'approximativement 32-36 m qui sera applicable dans le cadre de l'élaboration de notre modèle informatique.

.3.3.2.3 Pente d'un théâtre

L'observation du théâtre romain a permis de conclure que la pente d'un théâtre est une des caractéristiques essentielles qui conditionne la visibilité des spectateurs. L'inclinaison du sol dépend d'un théâtre à l'autre et selon G.C. Izenour (1996), la pente conseillée est de 30°. C'est la valeur de l'angle d'une pente généralement prévue pour le niveau du parterre. L'inclinaison des pentes, au niveau des galeries supérieures, diffère selon le cas de la salle et sa hauteur. Compte tenu de cette diversité, nous limiterons l'étude au niveau du parterre.

.3.3.2.4 Emplacement d'un spectateur

L'emplacement est l'angle formé par l'axe médian (ligne centrale) du théâtre et la droite qui joint le centre de la scène à la position du siège.

Comme nous allons le remarquer dans le schéma illustrant la variable (3) pente, du tableau (Figure 36), les parties noires illustrent les sièges à visibilité très réduite de la scène et sont, par conséquent, à exclure dans le cadre d'un aménagement de la salle. (Izenour, 1996) Les places les plus avantageées visuellement sont celles qui forment un

angle de 0° avec la ligne centrale, comme le point A par exemple. Plus l'angle croît, plus la visibilité est réduite. Cet angle doit être inférieur ou égal à 30° . Les élévations A et B de la scène montrent la différence dans les dimensions de l'espace qu'un spectateur perçoit selon qu'il est en un point A ou B de la salle. (P.J. Greenhalgh, 1948-49).

.3.3.2.5 Angle de vision d'un spectateur

L'angle de vision, selon les scientifiques, est fonction de l'ouverture de la scène et de l'emplacement du spectateur. La vue polychromatique dans un plan horizontal sans mouvement de l'œil donne un angle de vision dont la valeur est approximativement de 40° , ou sinon inférieur ou égale à 54° . Seuls toutefois sont visibles avec acuité les objets situés dans un champ visuel de 10 à 15° . (Neufert, 1983) L'angle de vision dans un espace théâtral est défini par l'espace balayé par l'œil depuis la position du spectateur (habituellement assis dont la hauteur des yeux est de 111 cm) (Figure 31), jusqu'à l'espace occupé par le spectacle.

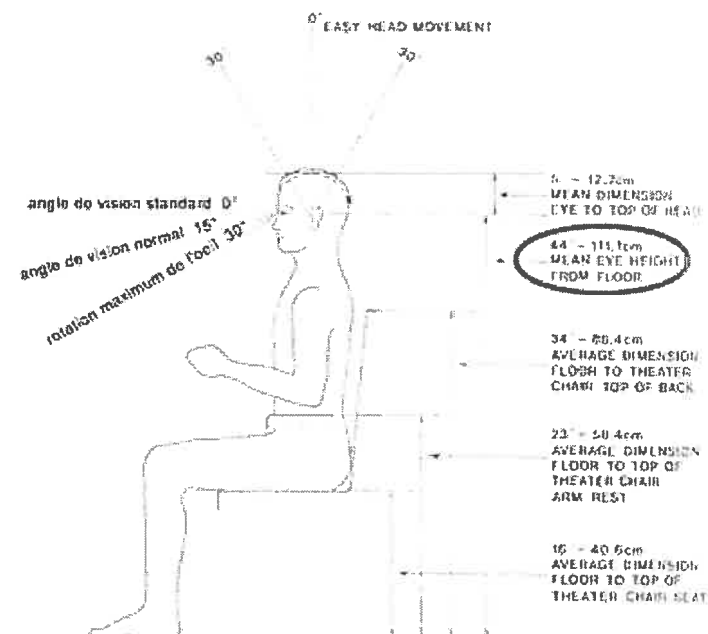


Figure 31. Schéma illustrant les valeurs des mesures qui caractérisent un spectateur assis, en particulier la hauteur de ses yeux. (G.C. Izenour, 1996)

Une bonne visibilité est dépendante de l'absence d'obstacles dans le champ visuel d'un spectateur comme par exemple la tête des spectateurs. (Figure 32)



Figure 32. Cas d'un champ visuel obstrué

Un champ de vision vertical (Figure 33 et 34) est défini par l'angle de vision dans le plan vertical au-dessus et au-dessous d'obstacles probables entre le point de vision et l'espace consacré au spectacle. Ces obstacles pourraient être les têtes des spectateurs ou des contraintes architecturales comme la balustrade du balcon ou la structure du plafond, etc.

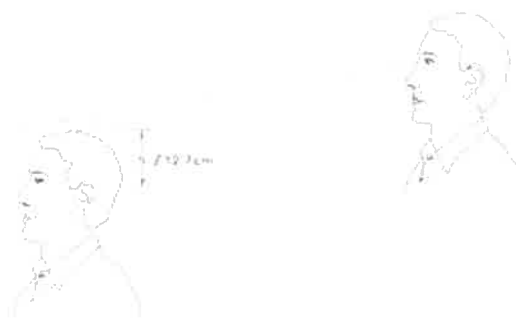


Figure 33. Champ visuel vertical lorsque le regard du spectateur n'est pas obstrué. (G.C. Izenour, 1996)

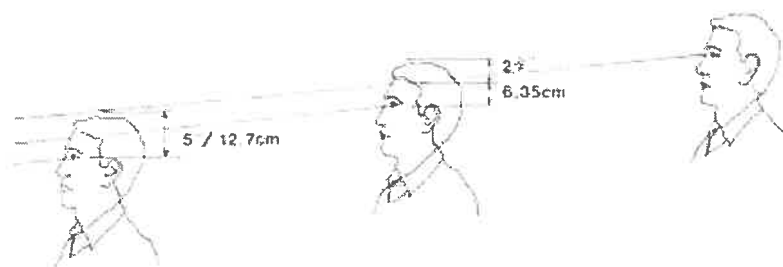


Figure 34. Champ visuel vertical lorsque le regard du spectateur est obstrué par une tête. (G.C. Izenour, 1996)

Un champ de vision horizontal est défini par l'angle de vision dans le plan horizontal entre ou autour d'obstructions possibles, si elles existent et localisées entre le point de vision et l'espace consacré au spectacle. Ces obstructions sont habituellement les têtes des spectateurs assis dans les rangées devant, ou alors des contraintes architecturales comme une division de loges ou une colonne, etc.

Compte tenu qu'il y a des rangées qui se suivent et que les conditions géométriques de la salle ne permettent pas souvent d'offrir une pente favorisant une vision au-dessus de la tête de la personne qui se trouve devant, l'angle de vision se définira dans un espace compris entre les têtes des spectateurs qui se trouvent immédiatement devant. Cet angle est estimé à 27° . L'architecture des théâtres présente souvent des contraintes qui ne permettent pas de réaliser des pentes assez raides pour une bonne visibilité. Le spectateur est donc réduit à entrevoir un spectacle dans un angle compris entre les deux têtes des spectateurs assis devant lui. (Izenour, 1996) (Figure 35)

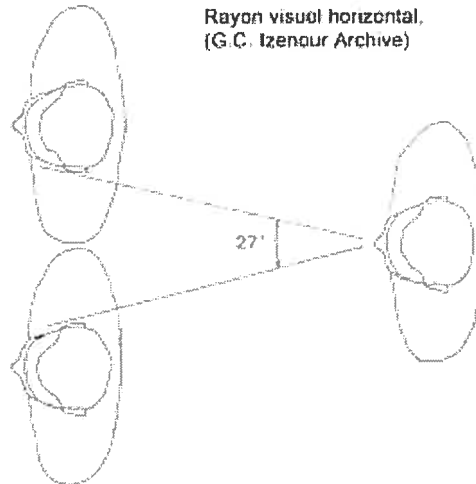
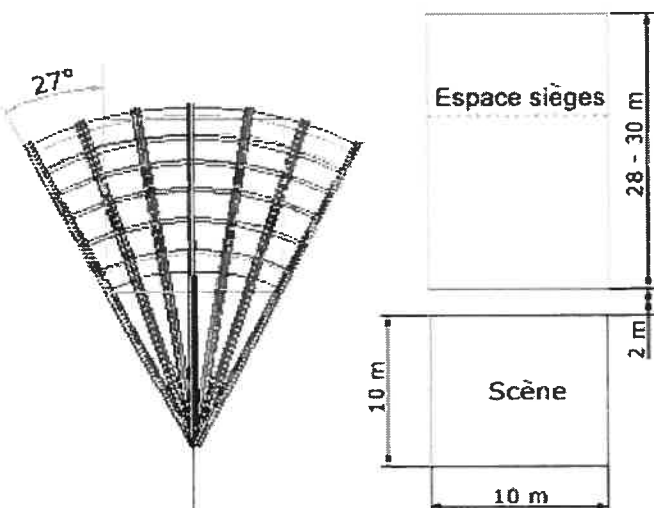
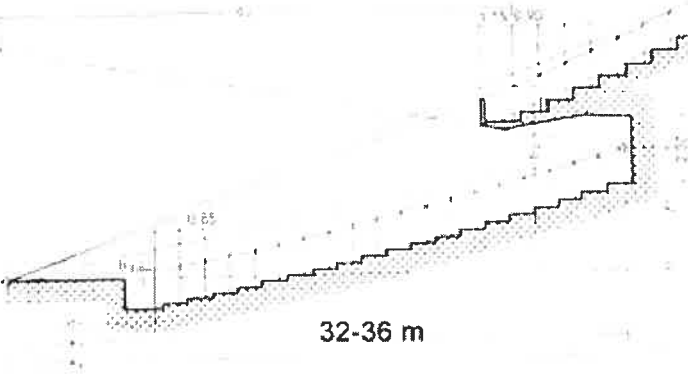
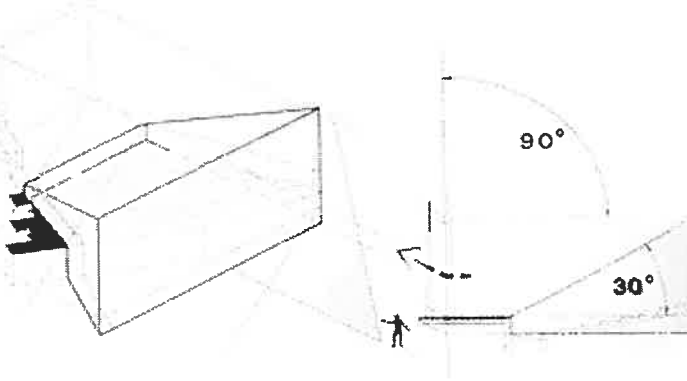


Figure 35. Champ visuel horizontal. (G.C. Izenour, 1996)

.3.3.3 Le tableau des variables

Les paramètres que nous venons d'énumérer et d'analyser sont résumés dans le tableau ci-dessous. (Figure 36) Il représente les variables retenues et qui mènent à la traduction du phénomène de visibilité. Il servira de référence dans la traduction informatique que nous allons effectuer. Ce tableau exprime les données géométriques avec leurs valeurs en respectant une bonne visibilité selon des normes établies en référence architecturale et que nous allons prendre en considération lors de notre étude. Nous examinerons donc des données géométriques établies par les scientifiques et les spécialistes du théâtre. Nous sélectionnerons celles qui sont susceptibles d'être quantifiées. Puis, nous les regrouperons sous forme de tableau accompagné de dessins explicatifs.

TABLEAU DES VARIABLES

VARIABLES	DESCRIPTIONS
<p>1- Forme du théâtre</p> <p>Dans le cadre de notre expérience, les considérations à prendre sont les suivantes : Un ensemble de gradins et une scène fixe. Notre étude se limite à un exemple simple, applicable à un autre cas d'espace théâtral. L'espace constitué par les gradins et la scène peut se déformer en fonction de la visibilité, en agissant sur les points de fuite.</p>	
<p>2- Portée visuelle</p> <p>La portée visuelle est la distance entre l'œil du spectateur et un point de la scène, dans l'axe médian. En s'appuyant sur les normes architecturales établies par E. Neufert (1983) et dans le cas de notre expérience, nous avons opté pour une portée visuelle de 32-36 m propre aux grandes salles.</p>	
<p>3- La pente du théâtre</p> <p>L'inclinaison de la pente est de 30°. La traduction informatique que nous allons effectuer se basera sur cette valeur. D'après G.C. Izenour, (1996), elle est idéale pour une bonne visibilité. La pente, peut bien sûr varier selon qu'elle appartienne au parterre ou au niveau des galeries supérieures d'un théâtre.</p>	

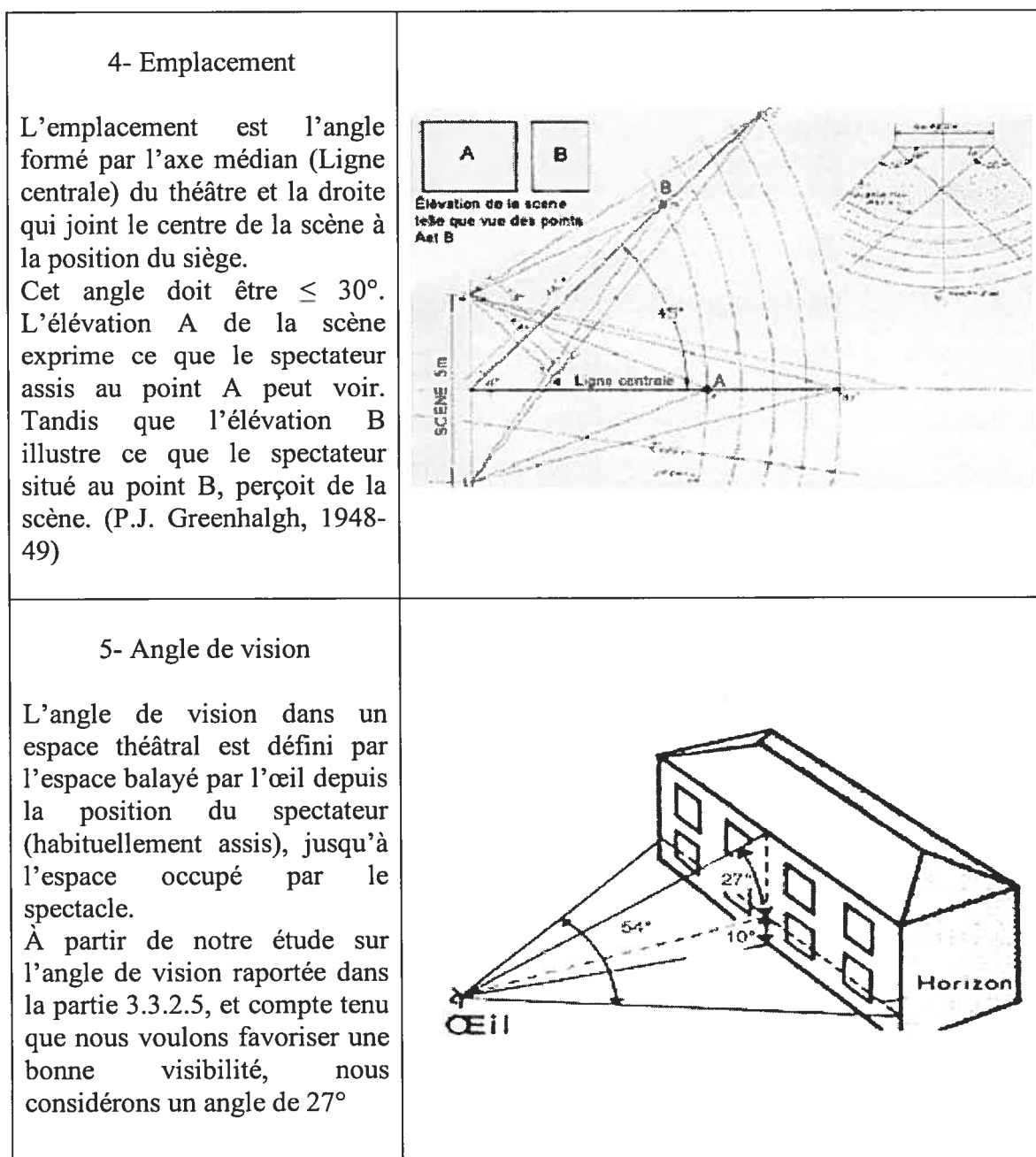


Figure 36. Tableau regroupant les valeurs des variables

3.3.4 Description de l'expérience et exemples de résultats

Nous avons choisi, comme nous l'avons énoncé dans le tableau des variables (Figure 36) de considérer l'espace de conception comme un ensemble de gradins (la tribune) et une scène fixe. Cet espace défini par la pyramide de vision constituera un dispositif qui

permettra la réalisation de nos expériences. Le terme prototype sera évoqué tout au long de cette expérience et désigne l'espace occupé par la tribune, la scène et la pyramide de vision.

Afin de construire ce prototype, qui va servir de plate-forme pour nos expériences, nous avons établi un schéma qui nous a aidé à mieux définir les possibilités offertes par l'outil que nous nous sommes proposés d'adopter. Il s'agit, comme nous l'avions précédemment détaillé, d'avoir recours à un système de modélisation qui permet d'intervenir sur les coordonnées de certains points spécifiques appelés points de contrôle. Ces points désignés par P1, P2 et P3 dans notre schéma, permettent de gérer la forme du prototype. Une section de ce prototype (la tribune) est représentée dans les deux figures 37 et 38.

À ce stade de l'expérience le nombre de rangées n'est pas pris en considération puisqu'il n'a pas une influence directe sur la forme d'un théâtre. Cependant la section de l'espace théâtral, telle qu'illustrée ci-dessus pourra se multiplier pour déterminer un ensemble qui répond aux exigences du modèle.

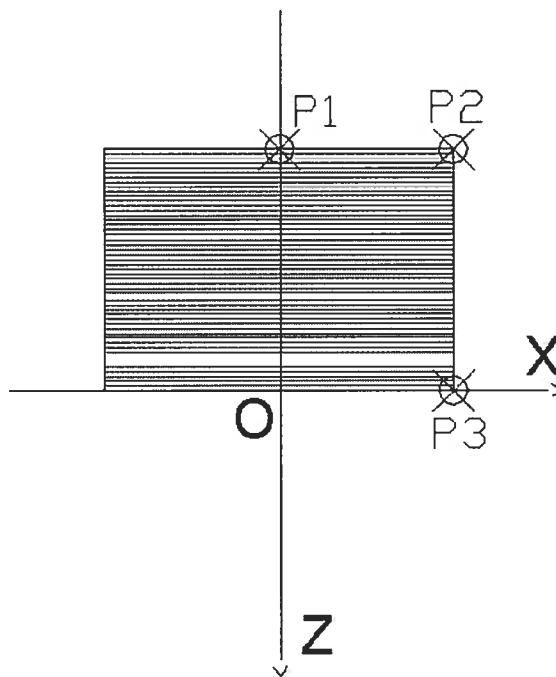


Figure 37. Dessin avec les gradins disposés selon des parallèles à l'axe des X.

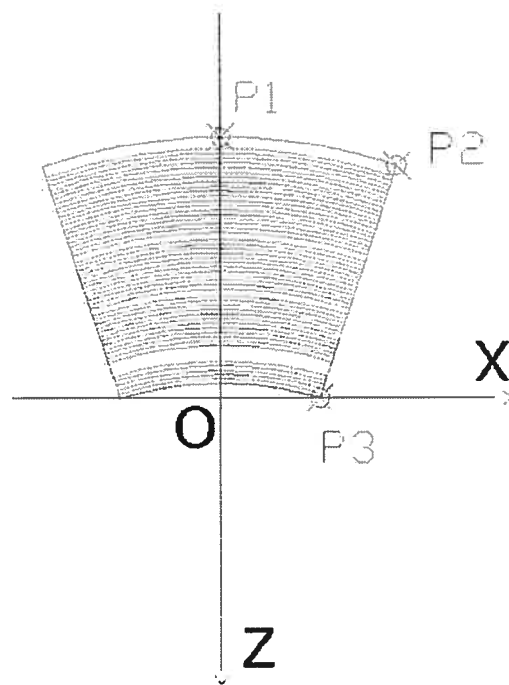


Figure 38. Dessin avec les gradins déformés pour obtenir une forme courbe par déplacement des points P1, P2 et P3.

Avant d'aborder notre étude de cas nous nous attardons à expliquer le rapport qui existe entre le public et la scène et pourquoi nous associons cette relation à une pyramide de vision. En effet et dans un tout autre contexte mais toujours commun au problème de la visibilité, nous nous appuyons sur l'approche de M-L. Nivet (1999). Selon elle, construire le volume utile de vision associé à la relation : « visiteur » localisé en un point P regardant un élément E particulier, revient à construire une pyramide. Cette pyramide a pour sommet le point localisation P et pour base le polygone H convexe représentant l'élément E, objet de la contrainte, dans le cas précis de l'étude de M-L. Nivet. (Figure 39) Toutefois, elle considère deux approches distinctes pour la localisation de l'observateur : celle d'un observateur localisé en un point et celle d'un observateur localisé sur un polygone convexe.

Nous prenons en considération la première approche où l'observateur est positionné en un point fixe déterminé par la position du siège.

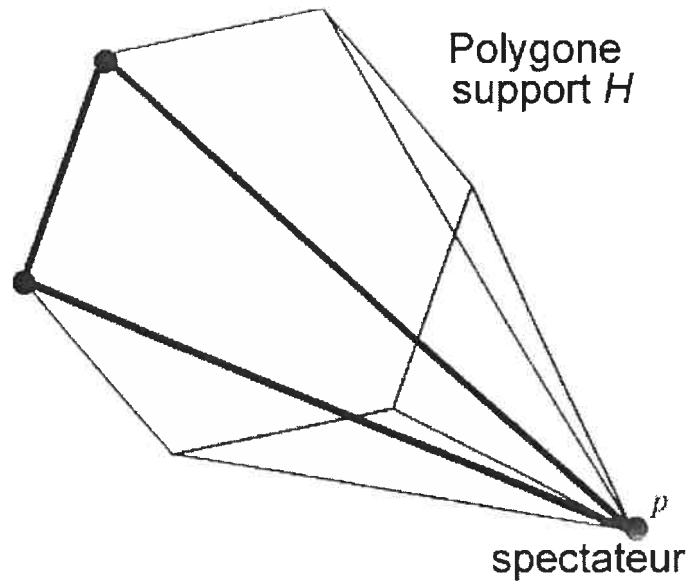


Figure 39. Pyramide de vision reliant le point P position du spectateur et les sommets de la scène. (M-L. Nivet, 1999)

Nous aurons l'occasion d'appliquer ce principe dans le cas de notre étude en considérant la scène comme un polygone dont les sommets concourent en un même point qui, en l'occurrence, est l'œil du spectateur. Il est à noter cependant que cette proposition d'envisager le champ visuel suppose un œil unique et fixe qui atteint à peine 150° et qui risque de nous faire voir tous les objets confondus dans un même plan. Or, selon J. Polieri (1990), les deux yeux embrassent un champ visuel de 200° et nous permettent de distinguer des objets sur la droite, sur la gauche et même un peu en arrière de chaque côté. Cette vision binoculaire qui nous caractérise est incompatible avec les conceptions des théoriciens de la Renaissance. En effet, ils considéraient l'image comme une coupe plane à travers le cône optique constitué par l'œil du spectateur et les rayons qui le joignent à tous les points de l'espace à représenter. (J. Polieri, 1990), (Figure 40)

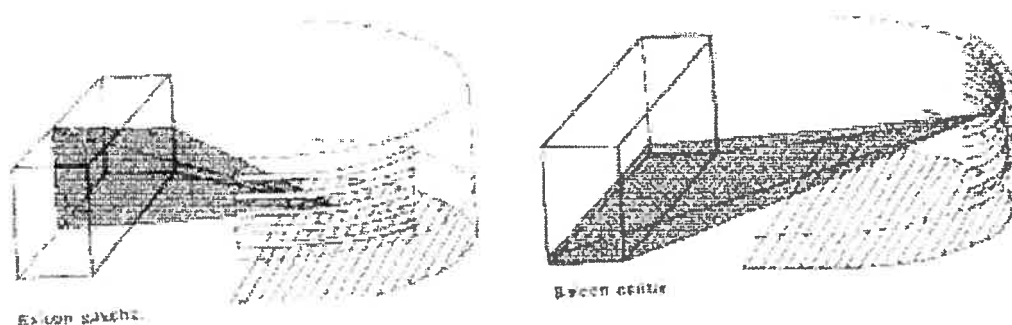


Figure 40. Exemple de salle italienne. (Extrait de « Scénographie » de J. Polieri, 1990)

La pyramide optique varie suivant le type de théâtre. Et d'après J. Polieri (1990), il existe différents types de réaction de l'œil par rapport à une image, qu'elle soit en relief ou sur un écran de cinéma ou un mélange des deux ainsi que par rapport à la position du spectateur. Il en découle des différences d'appréciation de l'image pour les spectateurs. Il préconise un renouvellement de la conception spatiale et considère la visibilité sous des angles différents en fonction d'une scène mobile ou de formes variées. Le théâtre en arène est un exemple propice où l'option d'une scène circulaire est adoptée. (Figure 41)

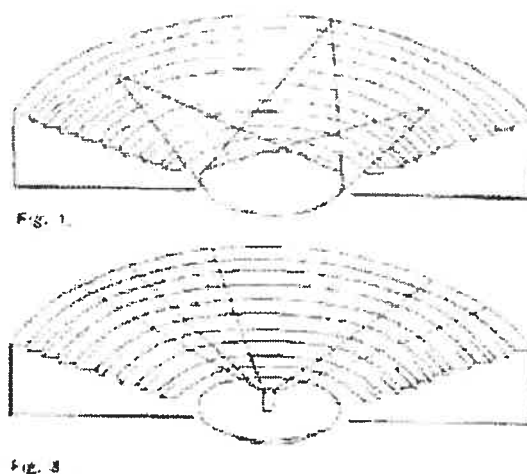


Figure 41. Exemple de théâtre en arène illustrant les rapports de visibilité. (J. Polieri, 1990)

Polieri (1990) cite en décrivant la figure 41, que les rapports de visibilité les plus simples sont ceux du théâtre en arène; en effet, chaque spectateur assiste spatialement au

même spectacle, quelle que soit sa place. Comme nous l'avions évoqué précédemment, nous allons limiter notre étude à un exemple simple qui permet de valider la possibilité d'offrir un assistant à la conception théâtrale en fonction de la visibilité. À condition de ne pas complexifier le phénomène de visibilité, nous ne faisons pas allusion, à travers l'élaboration de notre modèle aux conceptions des théoriciens de la Renaissance, mais une ressemblance peut s'avérer apparente. L'utilisation des moyens informatiques dans notre travail implique cette orientation qui pourrait être une voie vers un futur développement.

.3.3.5 Qualification de la visibilité

Nous avons déterminé les variables qui influencent d'une façon significative la conception d'un théâtre en fonction de la visibilité. Par la suite, tous ces paramètres traités ensemble vont produire le modèle.

Le modèle aura l'avantage de pouvoir optimiser l'emplacement des sièges dans un espace destiné au spectacle et de déterminer le nombre de sièges qui occupent cet espace de manière à favoriser une bonne visibilité des spectateurs. La qualité visuelle sera illustrée par des couleurs qui vont se répartir sur les sièges et qui vont les distinguer.

La qualification exprime l'état souhaité pour la relation visuelle. La relation visuelle est exprimée par l'établissement d'un lien entre un observateur muni d'un comportement et d'une localisation et un élément particulier de l'environnement. C'est la définition de M-L. Nivet que nous avons abordée précédemment et qui est donnée par un couple (relation visuelle, qualification). (M-L. Nivet, 1999) L'étape d'identification des variables combinée à celle de la qualification de la visibilité des spectateurs nous permet de poursuivre notre objectif.

.3.3.6 Traitement des variables

L'introduction des paramètres de visibilité pourrait se faire suite à une étude et une analyse d'un théâtre par rapport à cette contrainte. Ces paramètres proviennent du modèle théorique élaboré en figure 18.

La formalisation des variables énoncées précédemment nous a permis de réaliser un prototype d'un modèle informatique d'assistance à la conception d'un espace théâtral, selon des propriétés visuelles. Par la suite, en changeant la valeur de certains de ces paramètres, nous pourrions aboutir à la proposition de différents résultats qui seront classés dans un rapport nombre de sièges/visibilité. Ce prototype n'est pas un outil finalisé, il représente un modèle qui doit évoluer et s'adapter à la demande d'un concepteur d'un espace théâtral.

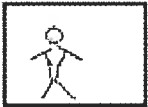

Nous présentons sous forme de tableaux les fonctionnalités que pourrait offrir notre modèle pour assister le concepteur d'un espace théâtral en fonction de la visibilité. Pour commencer nous prenons en compte l'angle de vision d'un spectateur.

TABLEAU 1 : APPRÉCIATION QUALITATIVE DE LA VISIBILITÉ D'UN ESPACE THÉÂTRAL

VISIBILITÉ	Portée visuelle : x	Pente du théâtre : y	Emplacement : z	Angle de vision : u vertical	Angle de vision : v horizontal
BONNE	$2\text{ m} \leq x < 15\text{ m}$	$Y > 30^\circ$	$Z = 0^\circ$	$U \geq 30^\circ$	$v \geq 30^\circ$
NORMALE	$15\text{ m} \leq x \leq 36\text{ m}$	$Y = 30^\circ$	$0^\circ < Z < 45^\circ$	$27^\circ \leq U < 30^\circ$	$v = 27^\circ$
MAUVAISE	$x > 36\text{ m}$	$Y < 30^\circ$	$Z \geq 45^\circ$	$U < 27^\circ$	$V < 27^\circ$

Figure 42. Tableau 1 illustrant l'appréciation qualitative de la visibilité dans un espace théâtral

TABLEAU 2 : AFFICHAGE DE LA SURFACE VUE DEPUIS UN SIÈGE DONNÉ

Vue de la scène	Coordonnées d'un siège	Rangée et numéro d'un siège
	x18, y18, z18 *	A 18 *
	x36, y36, z36 *	A 36 *
Etc...

(* Ces chiffres sont écrits à titre indicatif, ils constituent un exemple d'application)

Figure 43. Tableau 2 qui montre l'espace perçu par un spectateur à partir d'un siège précis défini par ses coordonnées

En fonction de l'espace perçu de la scène, il s'agit de déterminer la position du siège. Le résultat obtenu pourrait aider à aménager la salle et comment positionner les sièges. La colonne «Vue de la scène», (Figure 43), représente l'élévation de la scène vue par un spectateur selon la position de son siège désigné par ses coordonnées. Le troisième tableau représente une future liste de résultats qui peut orienter la distribution des sièges dans un théâtre et donner un aperçu de la position de l'ensemble des sièges.

C'est une approche qui s'annonce dans les milieux de vente de billets de spectacle. Ainsi pour répondre aux exigences du public, certaines compagnies théâtrales ont eu recours à l'outil informatique pour offrir au spectateur un aperçu de ce qu'il verra de la scène avant d'assister au spectacle. Le site Internet de l'Orchestre Symphonique de Chicago (2002) dont l'adresse est la suivante : http://www.cso.org/sat_seatingchart.taf, constitue un exemple de traitement graphique de la visibilité par rapport aux sièges. Ce site a été conçu de façon à présenter une nouvelle façon d'exposer au spectateur la vue qu'il aura de la scène suivant la position de son siège.

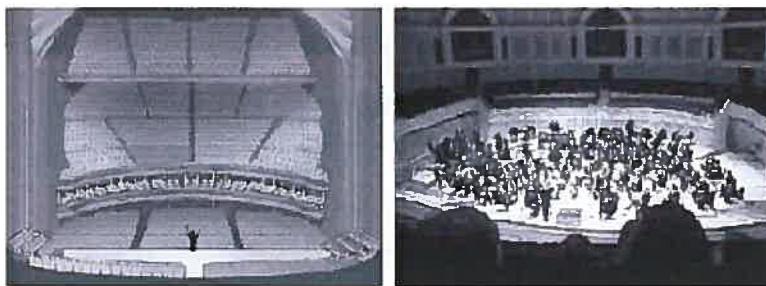


Figure 44. Image de la scène à partir d'un ensemble de sièges situés au balcon de la salle de l'Orchestre Symphonique de Chicago (effet réalisé à l'aide de «Flash Macromedia» par «Deepinteractive.com», 2002)

Cette image (Figure 44) extraite à partir du Web permet à l'utilisateur de visionner la scène à partir du bloc où est situé son siège. Notre étude de cas pourra interpréter la vision d'un spectateur individuellement, non pas celle d'un ensemble, et contribuer ainsi à une considération du facteur de visibilité dès les premiers stades de la conception architecturale d'un théâtre.

TABLEAU 3 : APPRÉCIATION QUANTITATIVE DES SIÈGES À L'INTÉRIEUR D'UN ESPACE THÉÂTRAL

COULEURS	VISIBILITÉ	NOMBRE DE SIÈGES
	BONNE	X
	NORMALE	Y
	MAUVAISE	Z

Figure 45. Tableau 3 illustrant l'appréciation quantitative des sièges par rapport à la visibilité dans un espace théâtral en considérant les variables

Le tableau (Figure 45) exprime la valeur du confort visuel et les variables requises pour le résultat, par rapport au nombre de sièges. Ce tableau conduirait à une série de résultats qui montrent différentes propositions d'occupation des sièges dans un espace théâtral. Une colonne pourrait s'ajouter pour reproduire le plan de la salle vis-à-vis des couleurs représentant la qualification des sièges par rapport au confort visuel que leur position respective procure au spectateur.

En résumé notre modèle propose plusieurs fonctionnalités :

- exploration de solutions par l'intégration des paramètres de visibilité
- modélisation d'un processus qui implique la prise en compte de la visibilité
- saisie des relations visuelles par une méthode de variation des paramètres
- manipulation et déformation du volume constituant l'espace théâtral
- affichage et calcul du nombre de rangées et du nombre de places en fonction de la forme théâtrale
- déduction des coordonnées de chaque siège et la vue qu'il dispose de la scène
- qualification des sièges en fonction de la visibilité
- compréhension de la conception d'un espace théâtral en fonction de la visibilité
- vérification de la cohérence de l'hypothèse et de la faisabilité de la proposition de prendre en compte les propriétés visuelles.

Nous avons choisi de développer le modèle à l'aide d'un logiciel de représentation et de modélisation *SGDL Systèmes* (Solid Geometry Design Logic Systèmes). Dans la partie qui précède, nous avons décrit le modèle escompté et ses fonctionnalités. Nous allons dans la partie qui suit, pour illustrer nos propos, détailler des exemples d'utilisation possible de notre modèle et montrer la capacité d'adaptation du modèle à la conception d'un espace théâtral en fonction de la visibilité.

Nous présentons simultanément la description informatique des fonctions qui structure notre étude de cas ainsi que les résultats sous forme d'images numériques obtenues après interaction avec le modèle.

Dans les annexes nous regroupons les détails de l'organisation générale du modèle. Dans un premier temps nous présentons le modèle avec la description des fonctions qui gèrent son fonctionnement et à la suite nous poursuivons notre but d'interagir avec le modèle par le biais de changement de certaines variables. Nous présentons ainsi différents résultats générés par notre action sur le modèle et interprétés sous forme d'images numériques accompagnées de discussions.

résultats générés par notre action sur le modèle et interprétés sous forme d'images numériques accompagnées de discussions.

.3.3.6.1 Fonctionnement du modèle et ses constituants

Le fichier de départ est *PItribune.scn* (voir annexes) avec la fonction principale s'y trouvant : *PItribune*. L'organisation des fonctions utilisées pour générer la tribune est montrée schématiquement sur la Figure 46. La fonction *PItribune* appelle *SLtribun.scn*. La fonction *SLtribun.scn* appelle les trois fonctions suivantes *SLptsctl.scn*, *SLcalcoo.scn* et *SLptssge.scn*

PItribune permet de définir tous les paramètres de visualisation de la scène. Elle fait l'initialisation des paramètres de visualisation et elle appelle la procédure de définitions de la tribune.

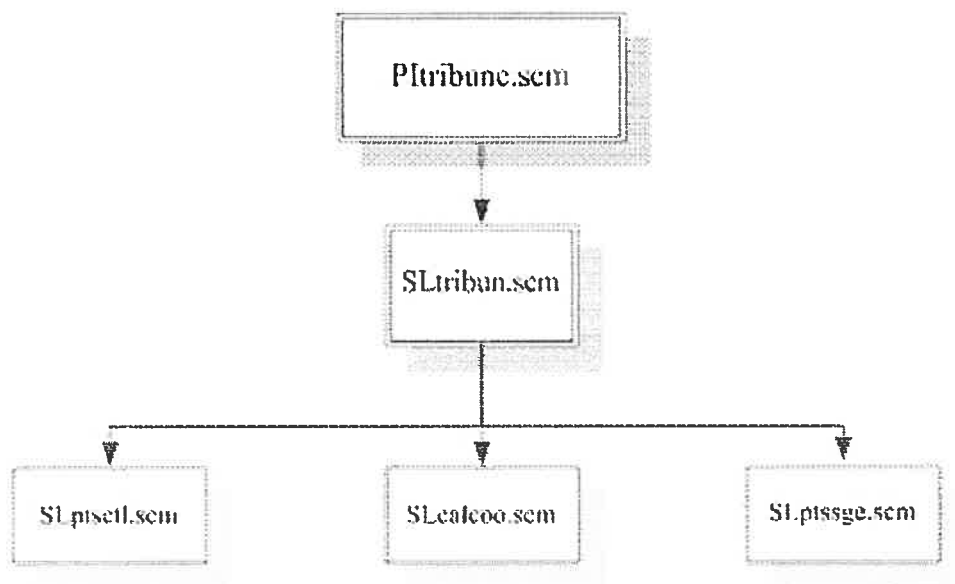


Figure 46. Organisation des fonctions qui génèrent la tribune

Cette procédure prend en arguments : (Figure 47)

- La largeur d'une rangée
- La hauteur d'une rangée
- La largeur d'un siège

```

;; Affichage de l'objet
(Pldraw->image

(DLuni
(sol)
(SLtribun
(vector 0 0 -20 1)
(vector 10 0 -19.5 1)
(vector 9 0 0 1)
1.8           ; largeur d'une rangée
0.8           ; hauteur d'une rangée
3             ; largeur d'un siège
)
(axes 0.2)
)
"image01.png"
))
)
)

```

Figure 47. Détails de la procédure qui tient compte des paramètres

Elle génère la tribune (Figure 48) avec les paramètres qui sont passés en argument. La figure 47 schématise une partie de la procédure *Pltribune* dans laquelle sont prises en compte les variables.

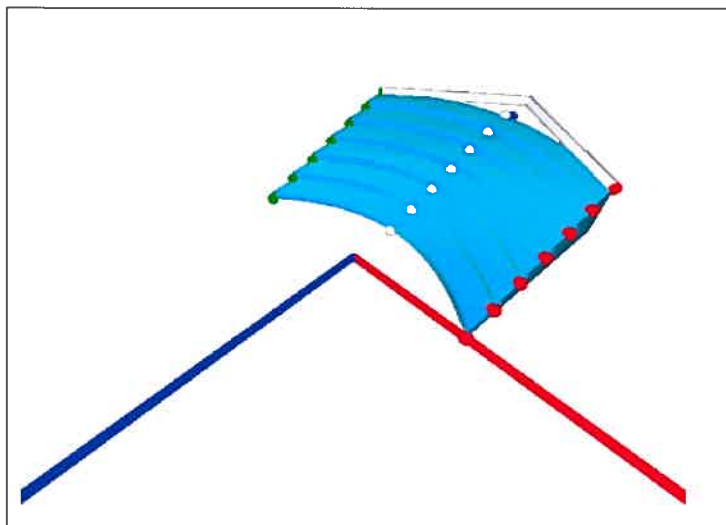


Figure 48. Premier résultat de la construction de la tribune : Construction des gradins selon les axes en rouge et bleu.

Dans *Pltribune.scm*, on calcule les points à l'aide de la fonction *SLptsctl.scm*, qui calcule les points de contrôle des quadriques définissant les rangées des plus hautes vers

les plus basses. Une fois la quadrique obtenue et les points de contrôle définis, on a une fonction qui calcule les quadriques : *slcslcoo.scm* qui est une liste des quadriques infinies, et qui a le rôle d'envoyer des rayons qui intersectent la tribune. Elle calcule les points d'intersection qui sont les points d'insertion des sièges. Nous pouvons maintenant les calculer et obtenir les coordonnées des points représentant la position des sièges.

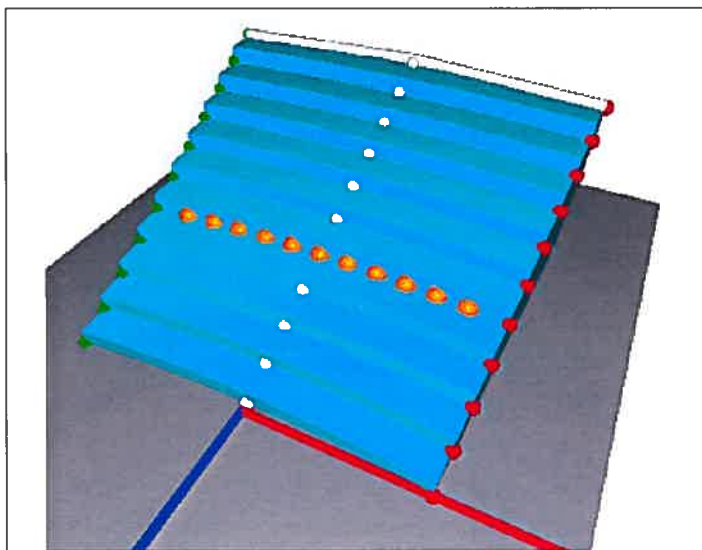
Le but est d'obtenir une liste ((pt0 pt1 pt2 pt3 pt4 pt5 ...))
 ((pt0 pt1 pt2 pt3 pt4 pt5 ...))
 ((pt0 pt1 pt2 pt3 pt4 pt5 ...))

La prochaine étape est de disposer tous les points représentant la position des sièges et de pouvoir faire afficher le nombre total de places possibles dans l'espace disponible.

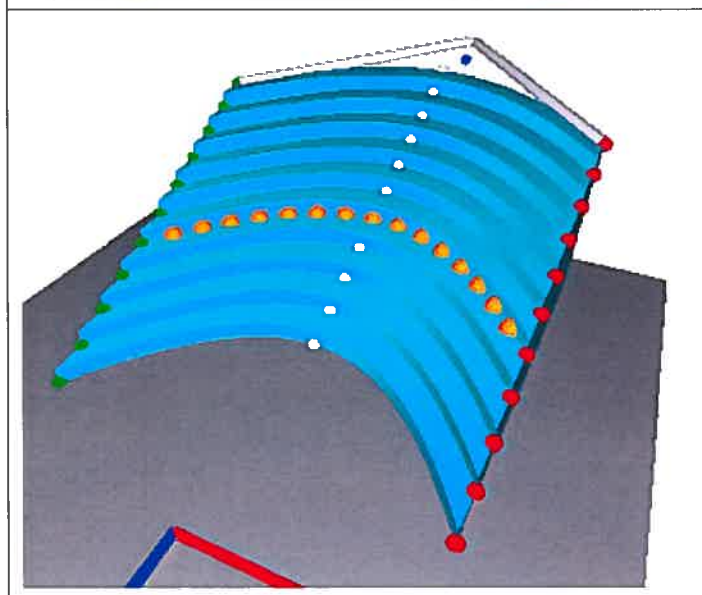
Par la suite nous allons interagir avec le modèle en déplaçant un point de contrôle P2, vers l'intérieur de la tribune. Par cette démarche nous essayons de limiter l'espace de la tribune à un espace qui ne varie pas et qui pourrait s'appliquer dans le cas de différents espaces de théâtre dont les dimensions géométriques présentent des contraintes à respecter, ce qui est souvent le cas. Notre première expérience permet de déformer la tribune en changeant la position d'un point de contrôle P2. Cette déformation est représentée dans la (Figure 49) En observant les résultats pour une rangée de sièges, nous avons remarqué une variation du nombre de sièges, suivant la forme de la tribune. Partant de cette démarche, nous avons voulu calculer le nombre de places dans l'ensemble de la tribune en fonction de différentes formes adaptées facilement par le changement d'un seul paramètre.

Cette possibilité de fournir le nombre de places par rapport à la forme d'un théâtre pourrait ainsi constituer un outil pour le concepteur d'un espace théâtral. Pour ce faire, nous avons poursuivi l'expérience en visualisant tous les points qu'occuperaient les sièges sur la tribune. (Figure 50)

10 places



15 places



17 places

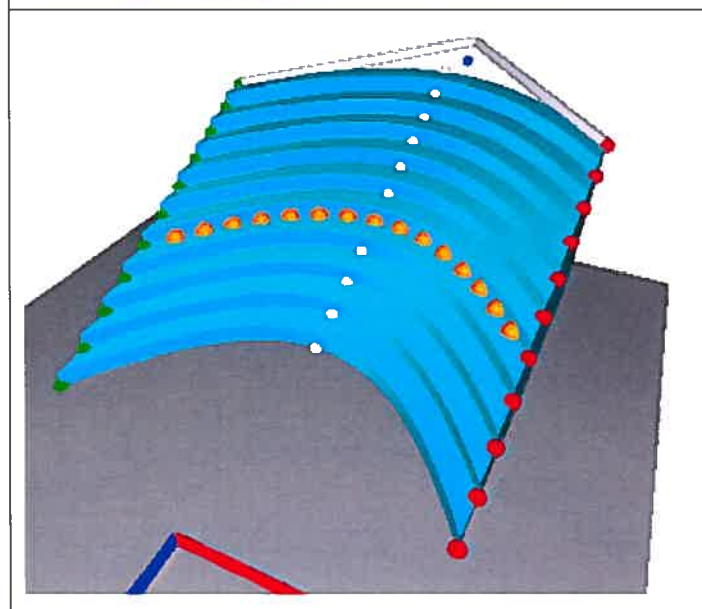


Figure 49. Successions d'images permettant d'analyser le résultat qui affiche le nombre de places

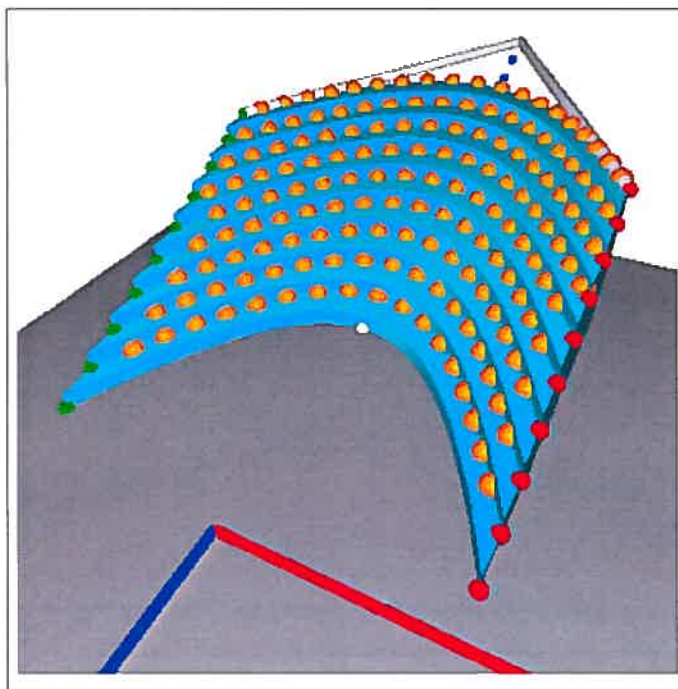


Figure 50. Répartition des points d'insertion sur l'ensemble de la tribune

.3.3.6.2 Les résultats de la première expérimentation

Les images numériques de la figure 51 permettent de constater que nous pouvons obtenir des résultats différents. On peut aussi générer le nombre de rangées obtenues ainsi que le nombre total de places générées par les points d'insertion comme présenté dans la figure 51. Cette expérience présente une première solution où nous obtenons une image d'une disposition frontale des sièges avec un nombre de rangées égal à 11 et un nombre total de places égal à 138. Dans le cas de la deuxième solution où le point P2 est déplacé, nous remarquons que le nombre de rangées se réduit à 6 et le nombre de places décroît à 108. À la suite de ces propositions, une discussion est amorcée pour opter vers le choix d'un aménagement propice à une bonne visibilité. Les avantages et inconvénients des deux propositions sont étudiés.

La solution 1 permet d'obtenir un nombre maximal de places, mais présente un désavantage par rapport à la visibilité. Comme nous l'avons déjà constaté avec l'étude de l'amphithéâtre romain de Thysdrus effectuée au préalable dans cette étude, la forme de la scène qui conditionne celle de l'espace théâtral était au départ carré. Puis elle a

subi des modifications pour devenir elliptique. Ce qui répondait mieux aux bonnes conditions de visibilité.

La solution 2 répond donc à une meilleure visibilité des spectateurs. Elle réduit le nombre de rangées et le nombre total des spectateurs, mais rapproche les spectateurs de la scène.

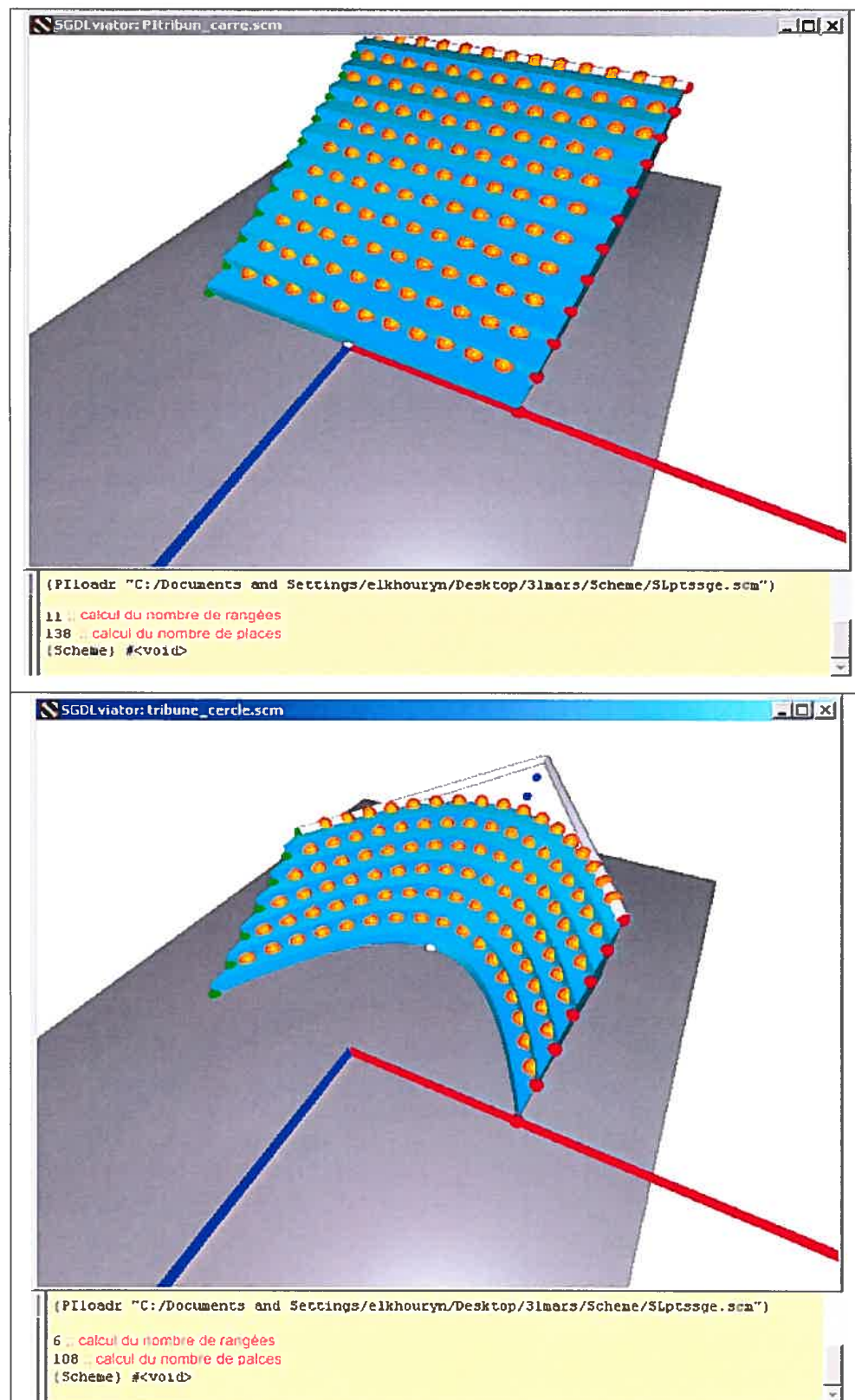


Figure 51. L'espace constitué par les gradins et la scène peut se déformer en fonction de la visibilité.

.3.3.6.3 La relation entre les points d'insertion et la scène

Nous avons défini l'emplacement du spectateur préalablement dans le tableau des variables. Il est déterminé, idéalement par un angle ne dépassant pas les 30° et qui est formé par l'axe médian du théâtre et la droite qui joint le centre de la scène à la position du siège. Le spectateur possède une localisation déterminée par les coordonnées du point d'insertion. Or nous avons obtenu, au fur et à mesure de notre travail, une liste de points qui sont les points d'insertion. Ces points vont nous permettre de positionner les sièges. Nous avons ensuite défini leur orientation par rapport à un point de visée désigné comme le « centre » et qui correspond à un point central de la scène. Lorsque ce point est envoyé à l'infini, la position des sièges devient frontale. Afin de positionner les sièges dans une direction qui s'harmonise avec la scène, nous avons procédé à un changement de repère relatif à chaque siège. Ainsi, chaque siège sera dirigé différemment et adéquatement par rapport à la scène. (Figure 52) Nous avons exclu, pour des motifs de présentation, la première rangée dans le déploiement des sièges sur la tribune.

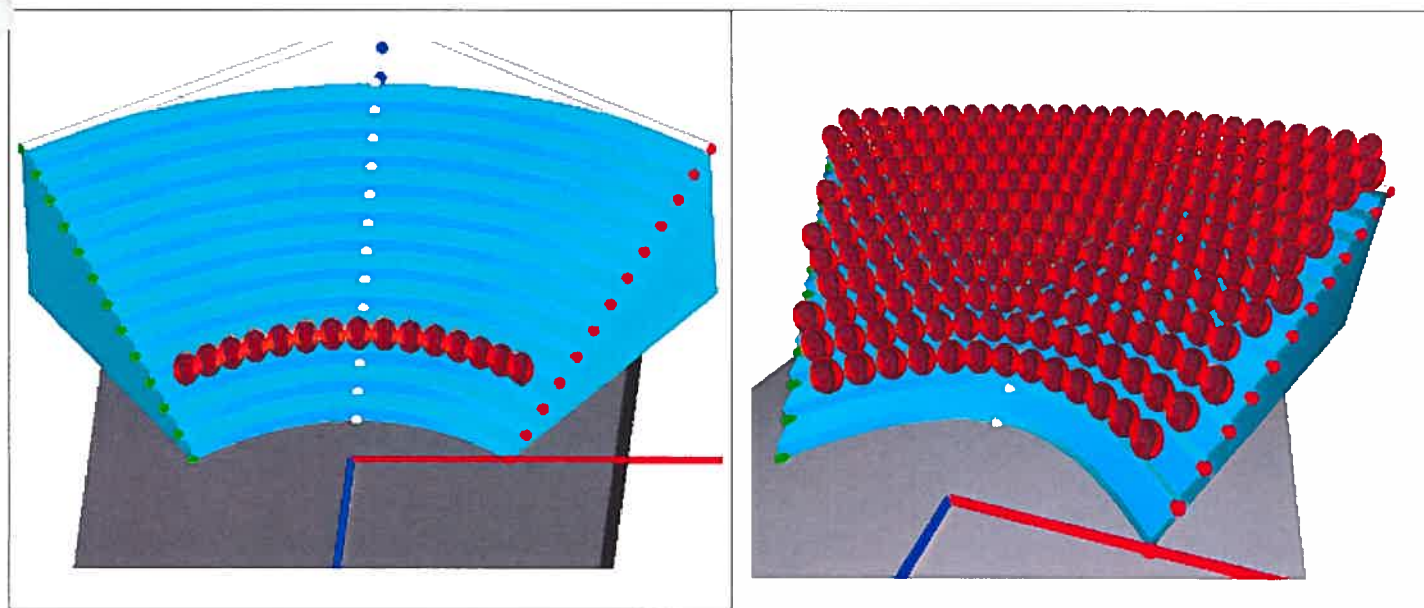


Figure 52. Distribution des sièges sur l'ensemble de la tribune

Cette possibilité de substituer les points par des sièges offre au concepteur une solution

pour l'aménagement d'un espace théâtral. Elle lui permet de changer au besoin le « siège » (Figure 53) et de l'orienter avec précision vers la scène sans avoir à recommencer toute la démarche de modélisation. (Figure 54)



Figure 53. siège.

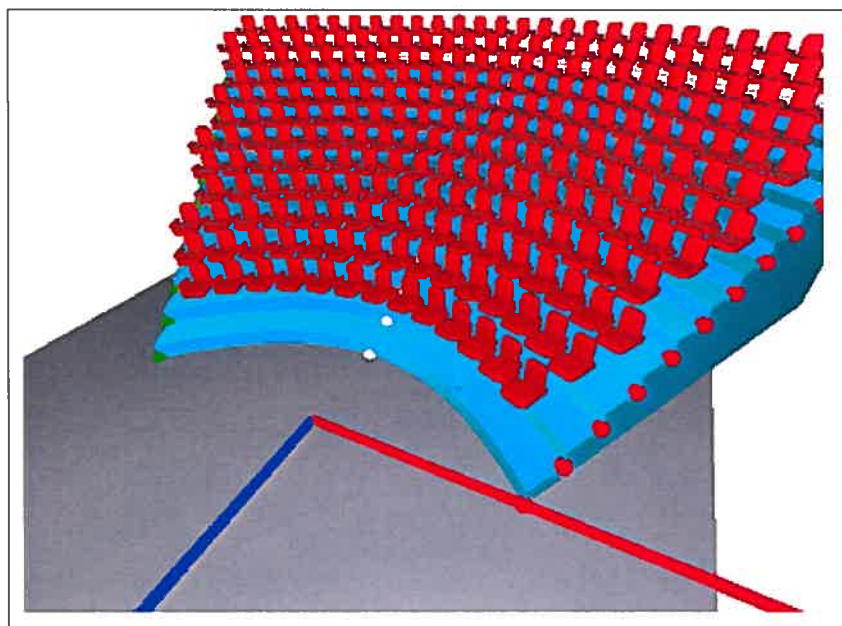


Figure 54. Possibilité de changement de sièges.

.3.3.6.4 La « vue de la vue » d'un spectateur

Nous avons modélisé la tribune qui représente l'espace occupé par le public. Nous avons défini le nombre de rangées ainsi que le nombre de places disponibles. Nous avons aussi déduits les coordonnées des sièges. Nous allons à présent poursuivre notre étude en expérimentant la possibilité d'entrevoir un aperçu de la scène depuis la position d'un

siège. Les figures 55, 56 et 57 résument le résultat de ces tests et présente des images à partir d'un siège. Pour ce faire, la fonction *Sltribun.scn* (voir annexes) a été modifiée en impliquant la variable « scène ». De plus, nous avons ajouté le paramètre : *afficher la scène ou non*.

La fonction *Pltribune* a été modifiée en ajoutant un lien entre *Pisobs* (position de l'observateur) et la liste des points d'insertion des sièges. La fonction dispose maintenant des paramètres suivants :

- une liste qui compose le nombre de rangées
- le nombre de sièges.

Les figures 55, 56 et 57 montrent donc la perception de la scène par le spectateur en fonction de sa position. La relation entre la scène et le spectateur s'avère utile pour la conception d'un espace théâtral. Ainsi, nous pouvons simuler ce que le spectateur perçoit de la scène. Et c'est, rappelons-le, la « vue de la vue », thème que nous avons évoqué dans la problématique à titre de comparaison avec l'œuvre de Magritte. Nous avons aussi simulé les têtes de spectateur en les représentant par des sphères. (Figures 56 et 57) À la figure 58, nous pouvons constater la différence entre une scène vue, avec et sans les têtes des spectateurs.

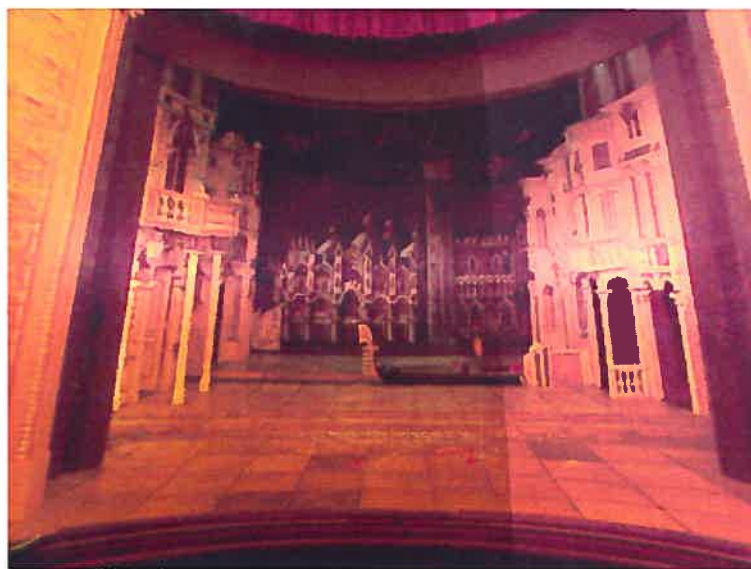


Figure 55. Vue frontale à partir d'un siège positionné à l'avant.



Figure 56. Vue à partir d'un siège situé à la 5^{ème} rangée, au milieu et simulation des têtes.

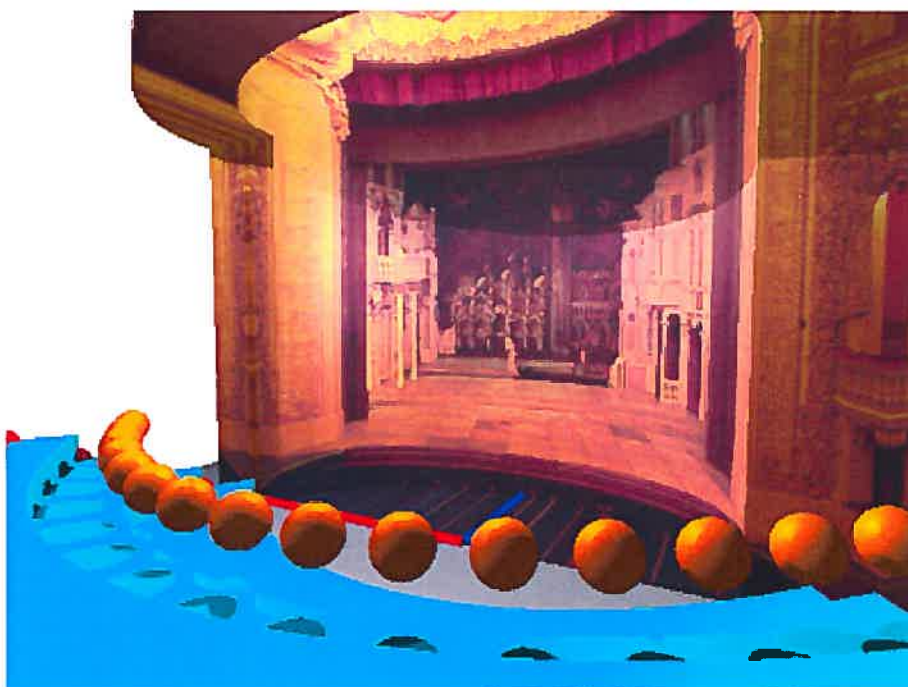


Figure 57. Vue à partir d'un siège situé sur le côté de la salle et simulation des têtes.

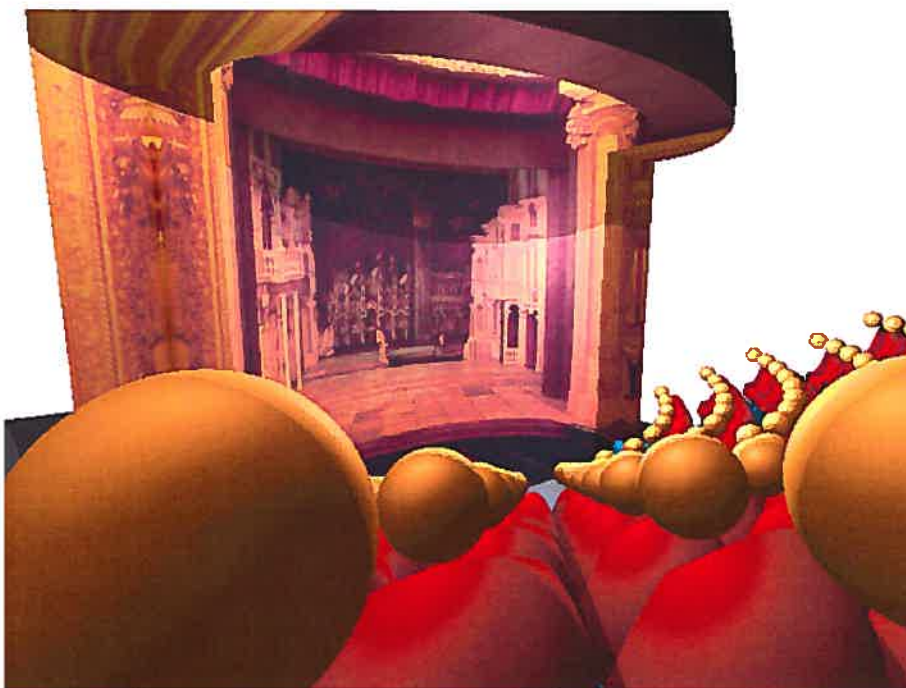
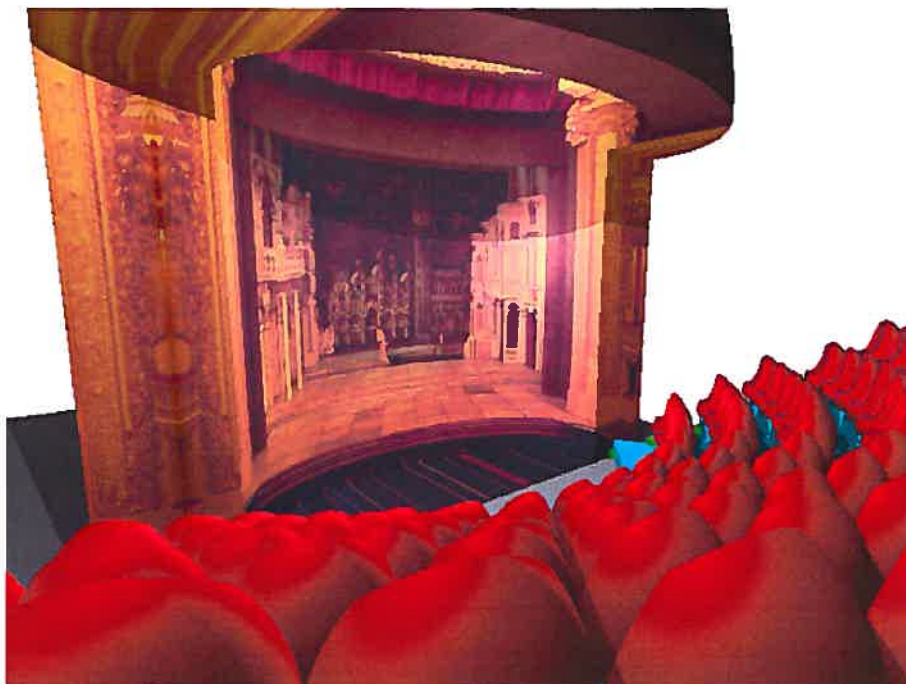


Figure 58. Scène vue avec et sans les spectateurs.



Figure 59. Application du principe à d'autres formes de sièges.

La figure 59 constitue une application du principe en changeant la forme du siège uniquement.

.3.3.6.5 La pyramide de vision

Dans cette partie de notre étude intervient le paramètre de la distance entre le spectateur et la scène. C'est ce que nous avons défini précédemment comme la « portée visuelle ». Elle représente le rapport géométrique entre le spectateur et la scène. S'ajoutent aussi à cette variable, les dimensions de la scène ainsi que la position du spectateur, suivant qu'il soit au centre ou sur les côtés par rapport à la scène. Toujours est-il que la relation « spectateur-scène » est maintenue par l'établissement d'une pyramide de vision dont les raisons de l'appellation ont été exprimées auparavant dans cette étude de cas.

Cette pyramide de vision (Figure 60) représente le champ de vision balayé par le spectateur à partir de sa position jusqu'aux sommets de l'espace occupé par la scène. Elle est différente pour chaque spectateur. En effet, chaque spectateur jouit d'une visibilité qui lui est exclusive.



Figure 60. pyramide de vision

C'est pourquoi nous poursuivons notre étude en soulevant l'importance de cette distinction visuelle et en essayant de la matérialiser en la représentant par des couleurs différentes. Nous proposerons donc d'adapter des couleurs aux pyramides de vision et

par conséquent à l'espace occupé par un siège. (Figure 61 à 64) Par cette proposition nous raffinons les possibilités et avantages que peut offrir le modèle.

Nous allons maintenant appliquer des couleurs correspondantes aux places des spectateurs pour désigner la qualité de vision de ces derniers.

Nous avons codé les règles de bonne visibilité pour la scène et avec les paramètres précédemment identifiés.

C'est la fonction secteurs qui prend en arguments :

- la liste de points d'insertion des sièges
- une liste avec les dimensions de la scène
- une liste des seuils de la distance jusqu'au milieu de la scène : (list 15 25) - en mètres
- une liste des seuils de l'emplacement : (list 30 45) - en degrés
- une liste des seuils de l'angle horizontal de vision : (list 15 30) - en degrés
- une liste des seuils de l'angle vertical de vision : (list 15 30) - en degrés
- un numéro de catégories de tickets désirés

Nous appelons cette fonction à partir de *SLtribune*.

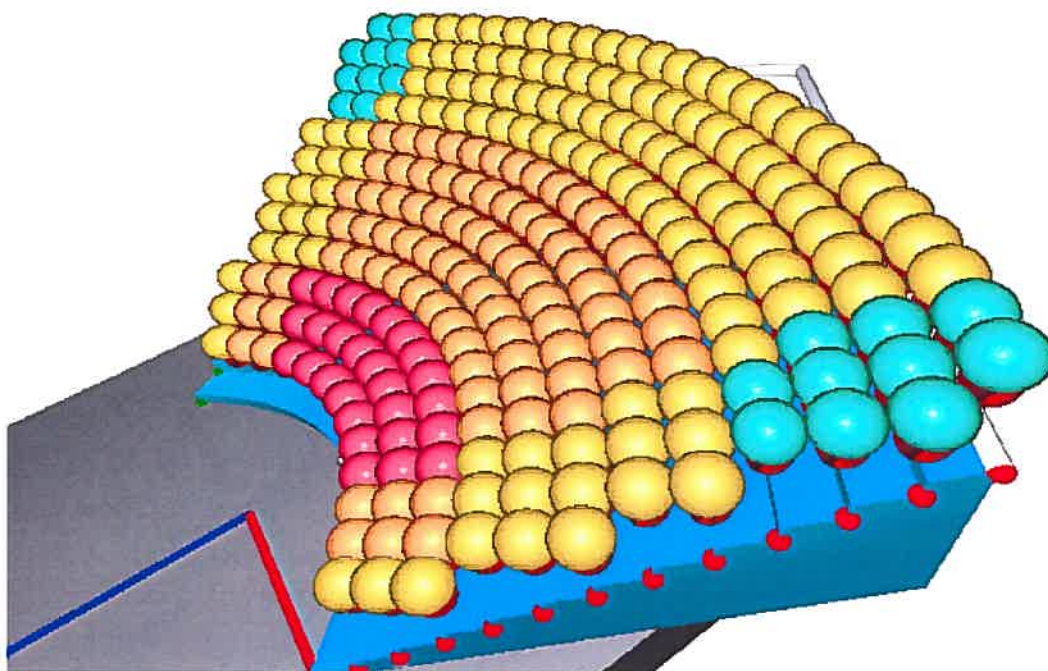


Figure 61. Premier résultat de la distribution des couleurs sur les sièges.

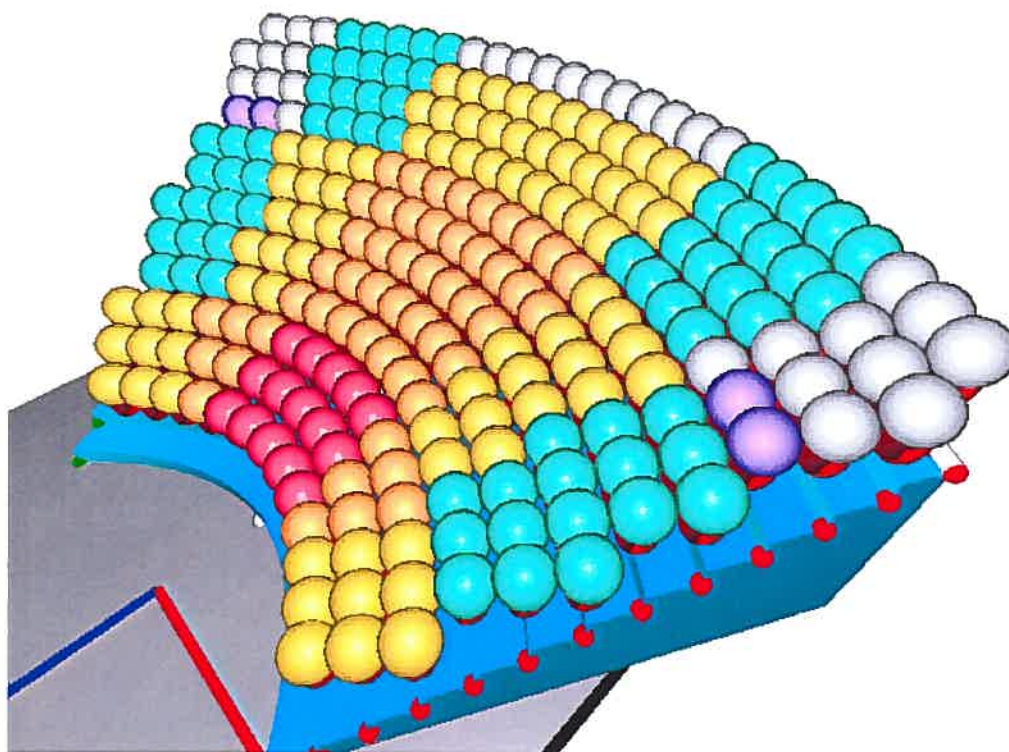


Figure 62. Modèle qui montre la possibilité de varier les conditions en vue d'obtenir plus de catégories.

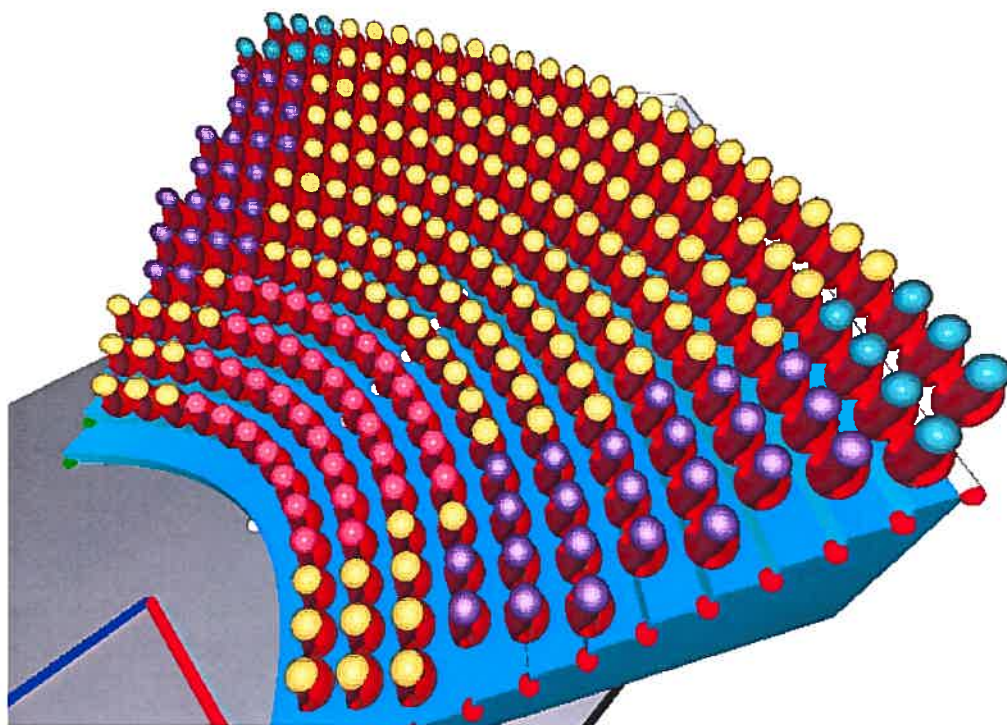


Figure 63. La tribune divisée en quatre catégories de couleurs.

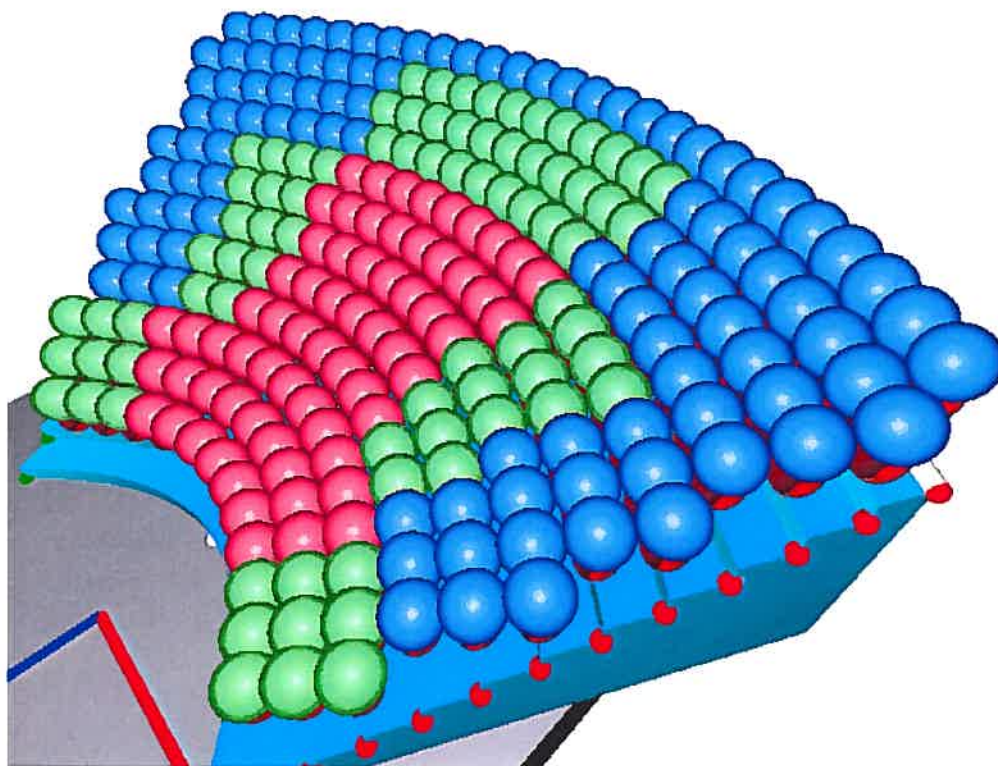


Figure 64. La tribune divisée en trois catégories de couleurs.

.3.3.6.6 Validation du modèle informatique

La validité d'un travail de recherche dépend de la réponse qu'une méthode peut apporter à la question de recherche posée. (Tidafi, 1996). Il s'agit de valider le fonctionnement du modèle proposé en gardant comme perspective l'objectif de notre recherche ainsi que les fonctionnalités de notre modèle tel que défini précédemment. L'objectif de notre recherche est, rappelons-le, de développer un prototype de modèle informatique devant servir à assister le processus de conception d'un espace théâtral dans le but d'améliorer la visibilité des spectateurs. Nous soulignons ainsi l'essentiel de notre recherche, celui de pouvoir intégrer les paramètres que nous avons identifiés. Ces paramètres interviennent aussi dans la validation du modèle informatique proposé.

La validation du modèle proposé est présentée sous forme de deux études de cas. En effet, un champ d'application de notre étude serait de considérer une place publique qui devra être aménagé en espace théâtral, comme c'était le cas au Moyen-Âge. L'espace théâtral ne se limite pas à une salle fermée et souvent ceux sont des aires extérieures : des parcs ou des rues qui sont transformés en lieux scéniques. Les concepteurs sont confrontés à une problématique qui met en question la façon de disposer les sièges. Et le spectateur se trouve non seulement confronté à subir l'inconfort d'un siège mais en plus la gêne qu'il peut éprouver en se rendant compte qu'il ne peut pas bien voir. Or notre modèle, avait pour dessein de pouvoir s'adapter à d'autres espaces liés au théâtre. Il a aussi la possibilité d'utiliser la même structure tout en fournissant des résultats différents selon les besoins du concepteur : nous avons expérimenté dans notre étude de cas la capacité du modèle à pouvoir se déformer et cela, en changeant un seul paramètre. Ce paramètre étant désigné par le point de contrôle de la quadrique. Le but était de pouvoir obtenir un modèle manipulable.

C'est ce que stipulait notre hypothèse. C'est-à-dire la possibilité d'introduire facilement les données, de les modifier et d'analyser les résultats en fonction des changements opérés. Et enfin notre étude de cas nous a permis de nous rendre compte de la possibilité d'améliorer le modèle sans pour autant reprendre les étapes de sa construction. Toutes ces possibilités qu'offre le modèle, nous ont conduits à l'intégrer à d'autres cas. Nous

avons choisi ces exemples en particulier car ils permettent de vérifier le fait que notre modèle soit manipulable.

Dans le cas d'une place publique, la valeur de l'angle d'inclinaison peut varier. Si nous considérons que la rue s'étend sur une surface plane, la pente sera estimée à 0° . Mais nous pouvons aussi avoir une panoplie de résultats à la disposition d concepteur. Il pourra ainsi adapter le nombre de personnes qu'il veut asseoir à l'espace dont il dispose tout en leur offrant une bonne visibilité. Il peut aussi étudier la possibilité de créer une pente en fonction de la hauteur de la scène. Le champ d'étude est vaste et nous considérons l'exemple de la Place des Arts à Montréal à laquelle nous avons intégré notre modèle informatique. Cet exemple est significatif car il permet aussi aux organisateurs d'événements de prévoir le nombre de spectateurs.



Figure 65. Place publique : Place des Arts (Montréal)

Nous pensons aussi qu'il serait judicieux d'intégrer notre modèle à un lieu historique adapté en espace théâtral. L'exemple de l'esplanade devant le temple de Bacchus (Baalbek) 150 ans (apr. J.-C.) pourrait illustrer cette idée. (Figure 66) En effet, cet espace est le théâtre d'un festival annuel qui met en scène diverses représentations. C'est à l'extérieur, sur les marches du temple que se produisent les pièces théâtrales Notre modèle imbriqué à cet espace pourrait constituer un départ vers un aménagement plus adéquat de l'espace en fonction de la visibilité des spectateurs.

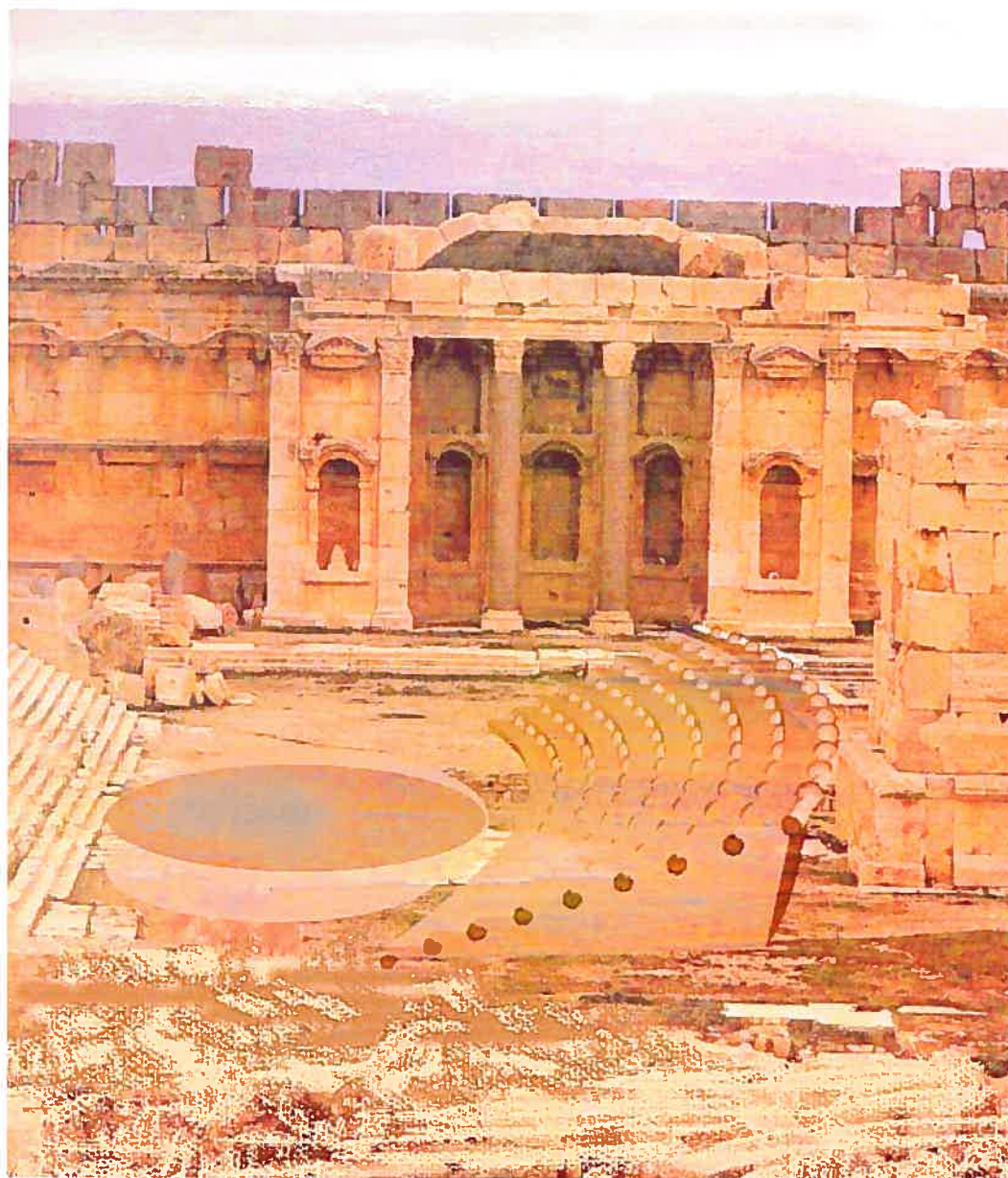


Figure 66. Espace devant le temple de Bacchus aménagé en lieu de spectacle (Baalbek)

Il est donc possible de constater que le modèle d'étude peut être extrapolé à l'ensemble d'un espace théâtral. Le fait de pouvoir généraliser notre modèle et l'appliquer dans le cas d'une place publique ou d'un lieu historique nous permet de valider notre hypothèse de départ. La validité externe de cette expérimentation repose sur la généralisation du modèle réalisé dans le cadre de l'étude de cas proposée. Elle est obtenue par la vérification du modèle dans une situation de conception différente. (Davidson, 2001). Cette validité externe confirme l'hypothèse qui induit l'usage des techniques numériques. Celles-ci interviennent comme des outils qui modifient les pratiques et les modes de relations entre le public et la scène. Les procédures ne se développent plus dans des logiques stabilisées ; elles défient toute approche irrévocable. La puissance des nouveaux outils déplacent les enjeux relatifs au théâtre comme la prise en compte de la visibilité des spectateurs et appelle autant d'expérimentations et de recherches à venir.

.3.3.7 Discussions et conclusions

Nous parvenons au terme de nos expériences en présentant un outil qui peut exprimer la visibilité de chaque spectateur et constituer ainsi un outil pour le concepteur d'un espace théâtral. Nous avons procédé en attribuant aux sièges, une hiérarchie de couleurs. Expérience que nous n'avons pas poursuivie lors de notre première élaboration d'un modèle à l'aide du logiciel *Autocad*. Ce premier modèle diffère du modèle proposé parce qu'il ne permet pas d'établir à l'aide d'un langage de programmation une hiérarchie des sièges.

Notre étude de cas a permis de montrer qu'il est possible de vérifier les rapports de visibilité dans un espace théâtral. Elle pourrait servir à la proposition d'une méthode en vue de la mise au point d'un modèle de théâtre destiné à une application ultérieure pour d'autres espaces de théâtre. Cette mise à l'épreuve de la proposition pourrait être traduite par un exemple concret à travers des images qui représentent les possibilités de la méthode proposée.

Ces résultats n'ont pas la prétention de résoudre le problème de visibilité des spectateurs dans un théâtre. Ils permettent de proposer une certaine amélioration dans le domaine de la conception théâtrale en fonction de la visibilité des spectateurs. Cette approche ouvre les voies vers de nouvelles pistes de recherche orientées vers la remise en question des méthodes habituelles utilisées par les architectes pendant la première phase de conception et, dans notre cas, de la façon de concevoir un espace théâtral pour satisfaire la visibilité des spectateurs.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Écoutons encore la petite fille qui assistait au spectacle...Elle n'arrivait pas à bien voir et se demandait ... « Mais pourquoi ? » Serions-nous en mesure de lui répondre ? Ou lui conseillerons-nous simplement de fermer les yeux et de laisser voguer son imagination ?

L'objectif de notre recherche était de définir un exemple de modèle informatique devant servir à assister le processus de conception d'un espace théâtral dans le but d'améliorer la visibilité des spectateurs. En particulier, il s'agissait de réaliser un modèle manipulable où les sièges peuvent être disposés d'une façon optimale et de les classer, en fonction de la visibilité des spectateurs. En vue de réaliser cet objectif, nous avons dans un premier temps, effectué une recherche exploratoire précédée d'une recherche historique. Ce qui nous a permis de mieux cerner les variables qui rentrent en ligne de compte lorsque le phénomène de visibilité est en jeu. Puis dans un deuxième temps, et à travers une revue de littérature nous avons identifié les variables qui ne sont pas exhaustives mais qui interviennent dans la conception d'un théâtre en fonction de la visibilité. Les paramètres identifiés étaient les suivants : la forme d'un théâtre, la portée visuelle, la pente de la salle, l'emplacement du siège, l'angle de vision et la scène. Comme nous l'avons déjà cité, ces paramètres combinés représentent l'«opérateur visibilité». Les variables se sont associées pour produire un modèle d'un espace théâtral conçu en fonction de la visibilité. La programmation de ce modèle a répondu aux objectifs de notre recherche et a permis de valider notre hypothèse.

Notre hypothèse était qu'«il est possible, dans un théâtre, de reproduire l'espace visuel, sous forme de modèle informatique manipulable. Il pourra déterminer la position des sièges et faciliter la prise en compte de la visibilité dans un espace théâtral.» C'est pourquoi nous avons proposé dans cette recherche, une méthode pour faciliter la gestion et la prise en compte de la visibilité dans la conception d'un espace théâtral. Nous avons pour cela construit et exploré différentes formes qui peuvent être à l'origine de la création d'un théâtre. Le fait de vouloir intégrer la visibilité dans un processus d'aide à

la conception nous a mené à nous intéresser aux travaux en modélisation et à l'examen de recherches relatives à la visibilité. Ces différentes étapes d'exploration nous ont permis de proposer un modèle facilitant la prise en compte de la visibilité dans un espace théâtral.

Nous avons réfléchi aux différentes solutions qui ne sont pas tant raffinées dans ce travail mais qui auraient pu l'être dans d'autres conditions. Nous avons écarté depuis le début de cette étude, la prise en compte de la perception humaine sur l'interprétation de la visibilité. L'intégration de la perception aurait pu être une variable à considérer, ouvrant une nouvelle voie mais aussi introduisant une grande part de complexité au phénomène de visibilité dans les théâtres qui, en lui-même est ambigu. Tout dépend du concepteur qui pourra définir les variables de son point de vue et en fonction de ses besoins. Par cette recherche, nous lui proposons l'outil informatique comme assistant.

La contribution de l'outil informatique ne se limite pas pour autant à la réalisation d'un modèle informatique d'un théâtre, et a tendance de plus en plus à s'intégrer à l'espace lui-même. Il en devient «le personnage principal», comme le cite le metteur en scène Ron Willis (dans É. Sadin, 2001). Par ces propos Willis, s'inspirait des «conceptions de Robert Edmond Jones qui dans les années quarante, s'était fait l'apôtre d'un théâtre du futur» et qu'il décrit ainsi :

«Le nouveau théâtre sera montré sur une scène à deux pistes. L'expérience objective sera interprétée par des acteurs en chair et en os (...) mais au dessus, derrière et tout autour de cette scène, un mur d'images sera dressé sur lequel l'univers intérieur des personnages de la pièce sera projeté, évoluant au fur et à mesure des pensées et des émotions.» (R.E. Willis dans É. Sadin, 2001)

Par sa conception de l'espace théâtral, R.E. Willis (2001) mène à une fusion du corps de l'acteur avec sa propre image; il en découle une *dislocation de l'acteur voire sa disparition*. (F. Bauchard dans É. Sadin, 2001)

Bien que dans cet exemple l'acteur perde son identité classique, d'une certaine manière il atteint la majorité du public. Il entretient ainsi un bon rapport de visibilité avec

l'assistance, puisqu'un spectateur, où qu'il soit dans la salle et ne voyant pas les infinis petits détails comme ceux du visage de l'acteur, pourra se satisfaire en les regardant sur un écran géant surplombant la scène. Cette scénographie virtuelle donne une idée de ce que les nouvelles technologies sont susceptibles de fournir. Cependant, ce rapport serait souhaitable dans le cas de l'ensemble de l'espace scénique englobant l'acteur. Et c'est précisément cet espace que nous avons tenté de définir et varier selon le cas pour améliorer la visibilité des spectateurs.

Sans prendre en compte la totalité des variables, il semble possible de réaliser un modèle qui intègre certains paramètres visuels dans un espace théâtral. Ces variables entretiennent une relation entre elles. Selon A. Ouellet (1981), lors de l'expérimentation, nous devons tenir compte non seulement des relations fonctionnelles entre les variables étudiées, mais aussi d'un contrôle systématique des variables à l'étude, et généraliser cette expérience en dehors du contexte expérimental. Dans ce but, notre recherche pourrait non seulement ouvrir des voies vers la mise à contribution de l'outil informatique pour proposer des dispositifs numériques cognitifs, mais elle pourrait suggérer une amélioration des moyens de la mise en vente des billets de spectacle. Ainsi, tous les jours le nombre des adeptes d'Internet augmente. De plus en plus de gens achètent des billets de spectacle en ligne. Or le spectateur aimerait voir ce qu'il voit de la scène à partir du numéro de sièges qu'on lui propose. Pour répondre aux exigences du spectateur, certaines compagnies théâtrales ont eu recours aux technologies numériques pour offrir au spectateur un aperçu de ce qu'il verra de la scène avant d'assister au spectacle. Or, on propose une image relative à un bloc de sièges englobant plusieurs rangées. La vision individuelle par rapport à chaque siège serait donc souhaitable et éviterait les mauvaises surprises au spectateur.

Les pistes de développement, faisant suite à cette recherche peuvent être multiples. Elles ne peuvent se limiter à la conception ou l'aménagement d'un espace théâtral. Nous avons retenu l'exemple particulier de la mise en marché des billets de spectacle qui constitue un champ d'application à notre recherche. Mais nous pouvons aussi envisager une approche semblable dans le cas de la prise en compte de la visibilité des spectateurs

pour la disposition des panneaux publicitaires autour de l'arène d'un stade ou tout autre espace voué au spectacle. Cette idée qui existe sans doute déjà, peut constituer une future voie de développement de notre modèle.

Comme nous l'avons constaté, notre modèle peut s'intégrer à d'autres espaces destinés au spectacle comme une place publique ou l'entrée d'un temple. Les exemples d'utilisation de notre étude de cas proposés pour la conception d'un espace théâtral présentés plus haut montrent une certaine accessibilité du modèle. On pourrait penser réaliser l'ensemble d'un projet de conception d'un espace théâtral. Mais cela va nécessiter d'autres études surtout si nous voulons intégrer d'autres opérateurs comme la perception, l'acoustique ou encore d'autres phénomènes physiques comme les conditions climatiques de l'espace théâtral. L'avenir serait de pouvoir étendre la conception d'un espace théâtral à la prise en compte d'autres phénomènes, en ayant recours à l'outil informatique.

Enfin, pour clore ces perspectives, nous citons l'exemple du «Théâtre de la Mémoire» conçu sur le modèle des théâtres antiques en 1532 par G. Camillo et dont il ne subsiste aujourd'hui aucune trace de sa structure en demi-cercle. (Représentée en annexes)

Il est constitué de gradins en bois sur lesquels sont peints les lieux de mémoire, c'est-à-dire le spectacle, entourant une scène où se tient l'unique spectateur. (B. Schefer, dans G. Camillo, 2001) L'exemple de ce «Théâtre de la Mémoire», qualifié de *merveilleuse machine*, est pertinent. En effet, pour l'unique spectateur, isolé dans cette boîte théâtrale, la visibilité ne sera pas mise en question.

Selon les dires de Schefer, Le «Théâtre de la Mémoire» n'a probablement jamais été achevé. Mais les écrits qui le décrivent nous entraînent à la réflexion et à imaginer de nouvelles voies. En utilisant une représentation homogène de tous les paramètres pour la conception des théâtres, on pourrait contribuer à la fois à l'amélioration de la visibilité et l'acoustique d'une salle de spectacle. Ces nouveaux défis ouvrent la voie vers la création de dispositifs numériques capables d'aider le concepteur dans sa tâche de conception.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAPST, G., *Essai sur l'histoire du théâtre*, Éditions Burt Franklin New York, 1971
- BOUDON P., Pousin, F., *Figures de la conception architecturale*, Dunod éd., 1988
- BROCKETT, O.G., *History of the Theatre*, Eighth edition, Allyn and Bacon, University of Texas at Austin, 1999
- CALVINO, I., *Leçons américaines : aide-mémoire pour le prochain millénaire*, Traduit de l'italien par Yves Hersant, Éditions Gallimard, France, 1988
- CAMILLO, G., *Le Théâtre de la Mémoire*, Éditions Allia, Paris, 2001
- CHOISY, A., *De Architectura, Vitruve*, Nouvelle édition, Tome I, Texte et Traduction, Livres I-X, Tome II, 1^{ère} partie, Analyse, Paris, F. de Nobelle, 1971
- CHUPIN, J-P., et LEQUAY, H., «Escalade analogique et plongée numérique. Entre l'atelier tectonique et le studio virtuel dans l'enseignement du projet», *Les cahiers de la recherche architecturale et urbaine*, numéro 7, Éditions du patrimoine, Paris 2001
- COUTY, D., et REY A., *Le Théâtre*, Édition Larousse, France, 2001
- DAVIDSON, C.H., AME 6502, Notes de cours, Faculté de l'Aménagement, Université de Montréal, Montréal, 2001
- DE ANDIA, B., *Paris et ses théâtres architecture et décor*, collection Paris et son patrimoine, édition l'Action artistique de la Ville de Paris, 1998)
- DE PAOLI, G., *Une nouvelle approche d'aide à la conception par ordinateur en architecture basée sur la modélisation d'opérateurs sémantiques et la création de maquettes procédurales*, thèse de doctorat, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, 1999
- DE PAOLI, G., Bogdan, M., « The front of the Stage of Vitruvius' Roman Theatre : A new Approach of Computer Aided Design that Transforms Geometric Operators to Semantic Operators», dans *CAADFutures99*, Atlanta, 1999
- DE PAOLI, G., Bogdan, M., «The Backstage of Vitruvius' Roman Theatre : A new method of Computer-Aided Design that Reduces the Gap between the Functional and the Operational», dans *CAADRIA 99 Proceedings*, Shanghai, 1999
- DESLAURIERS, J-P., *Recherche qualitative : guide pratique*. McGraw-Hill, New York et Montréal, 1991

- DE KETELE, J-M., et ROEGIERS, X., *Méthodologie du recueil d'informations : fondements des méthodes d'observations, de questionnaires, d'interviews et d'études de documents*, Département De Boeck Université, Paris, 1996
- FAUCHER, D., et NIVET, M-L., «Playing with design intents: integrating physical and urban constraints in CAD», dans *ACADIA 98*, Québec, 1998
- FLOCON, A., et TATON, R., *La perspective*, éditions «Que Sais-Je», 1963
- GEHRY, F.O., « Performing Arts Center at Bard College», New York, New York, U.S.A., dans *GA Document, International 2001*, no 65
- GOLVIN, J-C., *L'amphithéâtre romain, Essai sur la théorisation de sa forme et de ses fonctions*, I texte, II planches, Diffusion de Boccard, Paris, 1988
- GREENHALGH, P.J., *Theatre Catalog*, 7th annual all new edition, Philadelphia, 1948- 1949
- GUITÉ, M., et PARISEL. C., «Réflexion sur une uniformisation de données pour la description d'objets physiques», dans *Modélisation architecturale et outils informatiques entre cultures de la représentation et du savoir-faire*, Sous la direction de De Paoli G. et Tidafi T., Les Cahiers scientifiques 95, Acfas, 2000
- HERNANDEZ, G., *La prise en compte de la lumière naturelle pendant la conception architecturale à l'aide des outils informatiques*, mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, 2003
- HOUPERT, S., «Inverse Simulation of Sunshine, Visibility and Reflection in architectural and urban spaces», dans *Eurographics WScg'2002*, p217-224
- HUBERT, M.L., *Le Théâtre*, Édition Les Essentiels Milan, Université de Provence, 2000
- IORLANOVA, I., *Les objets-types en conception architecturale et leur représentation par la modélisation du savoir-faire*, mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, 2000
- IORLANOVA, I., et TIDAFI, T., «Modélisation par actions d'objets-types en architecture Vers un environnement informatique favorisant la conception assistée par ordinateur», dans *Modélisation architecturale et outils informatiques entre cultures de la représentation et du savoir-faire*, Sous la direction de De Paoli G. et Tidafi T., Les Cahiers scientifiques 95, Acfas, 2000
- IZENOUR, G.C., *Theater design*, second edition, Yale University Press, New Haven and London, 1996
- LE CORBUSIER., *VERS UNE ARCHITECTURE*, Éditions Flammarion, Paris, 1995
- LÉGLISE, M., «Conception assistée : modélisation et interprétation», dans *Modélisation architecturale et outils informatiques entre cultures de la représentation et du savoir-faire*, Sous la direction de De Paoli G. et Tidafi T., Les Cahiers scientifiques 95, Acfas, 2000

- LE MOIGNE, J-L., *La théorie du système général : théorie de la modélisation*, Presses Universitaires de France, Paris, 1984, c1977, p. 22
- LEPAGE, R., «Zulu Time, L'espace-temps, Dossier Interactif, Québec New York 2001» Dans le magazine *Convergence*, no 9, p.9-11, *présenté par le lien multimédia*, Québec, 2001
- LISTA, G., *La Scène Moderne*, Actes Sud, Arles, 1997
- MAEDA, J., *Maeda et Media Journal d'un explorateur du numérique*, Éditions Thames & Hudson, Paris, 2000
- MICHEL, B., et RADZYNSKI, A., «*Scénographie théâtrale & cinématographique*», *Conférences*, École de Design, Faculté de l'Aménagement, Université de Montréal, 2001
- NEUFERT, E., *Les éléments de projets de construction*, 6^e édition, Dunod, Paris, 1983
- NIVET, M-L., *De Visu : un logiciel pour la prise en compte de l'accessibilité visuelle dans le projet architectural, urbain ou paysager*, thèse de doctorat, École Doctorale Sciences pour l'Ingénieur de Nantes, Université de Nantes, 1999
- OUELLET, A., *Processus de recherche : une approche systémique*, Presses de l'Université du Québec, Sillery, Québec, 1981
- PARISEL C., et TIDAFI T., « Le modèle en architecture dans un contexte informatique, Redéfinitions ou propositions», dans *EAPV, Bulletin d'information de l'École d'architecture Paris-Villemin*, N. 29, Paris, 1998
- PASSINI, R., *AME 7302, Notes de cours*, Faculté de l'Aménagement, Université de Montréal, Montréal, 2001
- PAQUET, M., *René Magritte, 1898-1967, La pensée visible*, Éditions Taschen, 2000
- PÉROUSE de MONTCLOS J.M., «*Architecture, vocabulaire, principes d'analyse scientifique*», Paris, Imprimerie nationale M CM XCIII, 1989
- POPOV, V., et POPOVA, L., et DE PAOLI, G., «Vers un langage à objets pour la conception déclarative de scènes» dans *ACADIA 98*
- POPOVA, L., «Vers une modélisation spatiale hybride en conception déclarative des Scènes 3D», dans *Modélisation architecturale et outils informatiques entre cultures de la représentation et du savoir-faire*, Sous la direction de De Paoli G. et Tidafi T., Les Cahiers scientifiques 95, Acfas, 2000
- POLIERI, J., *Scénographie, Théâtre Cinéma Télévision Le Grand Classique* Éditions Jean-Michel Place, *Scénographie*, réédition revue, corrigée et augmentée de l'ouvrage publié en 1963 aux Éditions Architecture d'Aujourd'hui, Paris, 1990

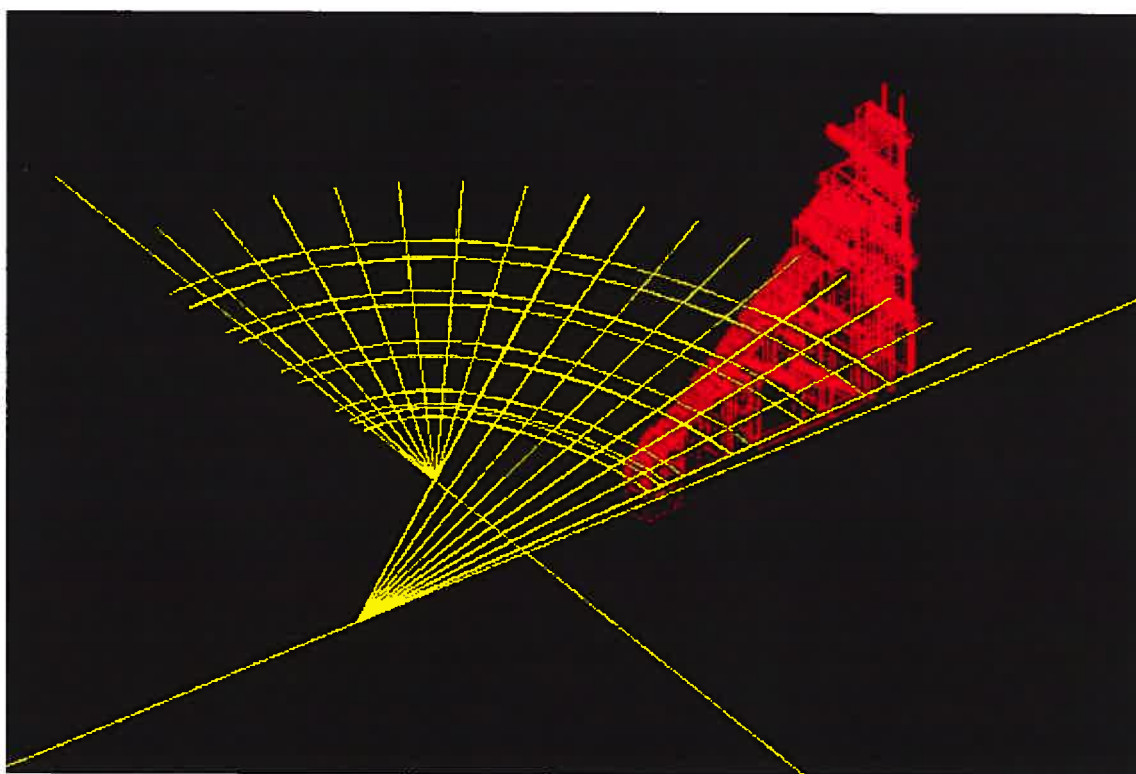
- RITTAUD-HUTINET, J., *La vision d'un futur : Ledoux et ses théâtres*, Éditions Presses Universitaires de Lyon, 1982
- ROITER, F., *Liban*, Ideazione grafica, Beirut, 1980
- ROSNAY, J (de), *Le macroscopie : vers une vision globale*, Éditions du Seuil, 1975
- SADIN, É., «Création théâtrale et technologie numérique, Frank Bauchard» Dans le magazine *[pratiques artistiques nouvelles technologies] : éc/art S : # 1*, p.179-184, Publié par : éc/art S : publishing site>, Paris, 2001
- SAINT-AUBIN, J-P., *Le relevé et la représentation de l'architecture*, Édition L'inventaire, 1992
- SARRADIN, F., SIRET, D., HÉGRON, G., «Visual Analysis of Urban Environment, First International Workshop on Architectural and Urban Ambient Environment»; Nantes, Laboratoire CERMA, École d'Architecture de Nantes, 2002
- SAURA, J., *Espace dominé, «Scénographie de la ville»*, Éditions de l'Espérou, Les Presses Littéraires, Sainte-Estève, 1995
- SEMLALI, A., *La représentation algorithmique des dômes mouquarnas : du planaire au volumique*, mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, 2001
- SOLT, J., «La danse et le rêve, Jean Nouvel et Frédéric Flamand en conversation avec Judith Solt», *Archithese*, 3.02, p. 58-61, 2002
- THYSDRUS : <http://www-sira.montaigne.u-bordeaux.fr/TUNISIE>
- TIDAFI, T., *Moyens pour la communication en architecture – Proposition de la modélisation d'actions pour la figuration architecturale*, thèse de doctorat, Faculté de l'aménagement, Université de Montréal, 1996
- TOMESCU, T.A.A., *Un moyen informatique d'aide à la restauration de monuments historiques*, mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, 2002
- ZEISEL, J., *Inquiry by design : tools for environment, behavior research*, Cole Pub, Monterey, California : Brooks, 1981

ANNEXE 1

Le modèle informatique qui illustre les propositions de restitution de l'amphithéâtre de Thysdrus (Tunisie, II^e siècle apr. J.-C.) extrait du site Internet suivant :

<http://www-sira.montaigne.u-bordeaux.fr/TUNISIE/eljem/index.htm> (1995)

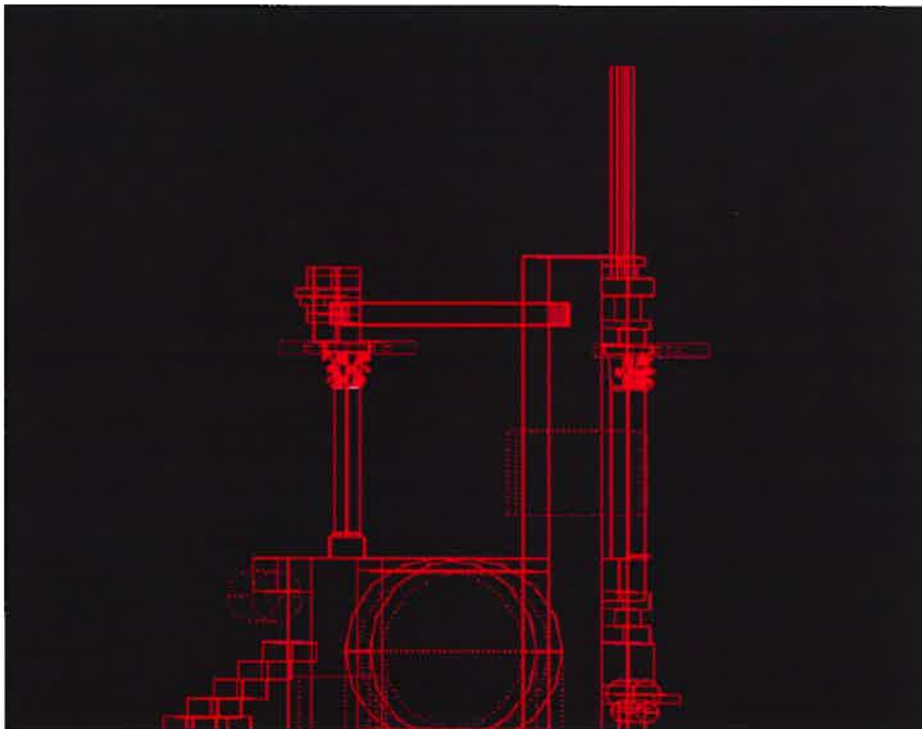
(Conception et réalisation de la maquette électronique Jean-François Bernard, Centre Pierre Paris, 1994)



1 : Coupe d'une travée type. Détail de la galerie supérieure - vue en filaire (J.F.Bernard, 1994)



2 : Tracé du plan et axonométrie d'une travée type - vue en filaire (J.F.Bernard, 1994)



3 : Coupe d'une travée type - vue en filaire (J.F.Bernard, 1994)



4 : Détail de la façade - vue perspective (J.F.Bernard, 1994)



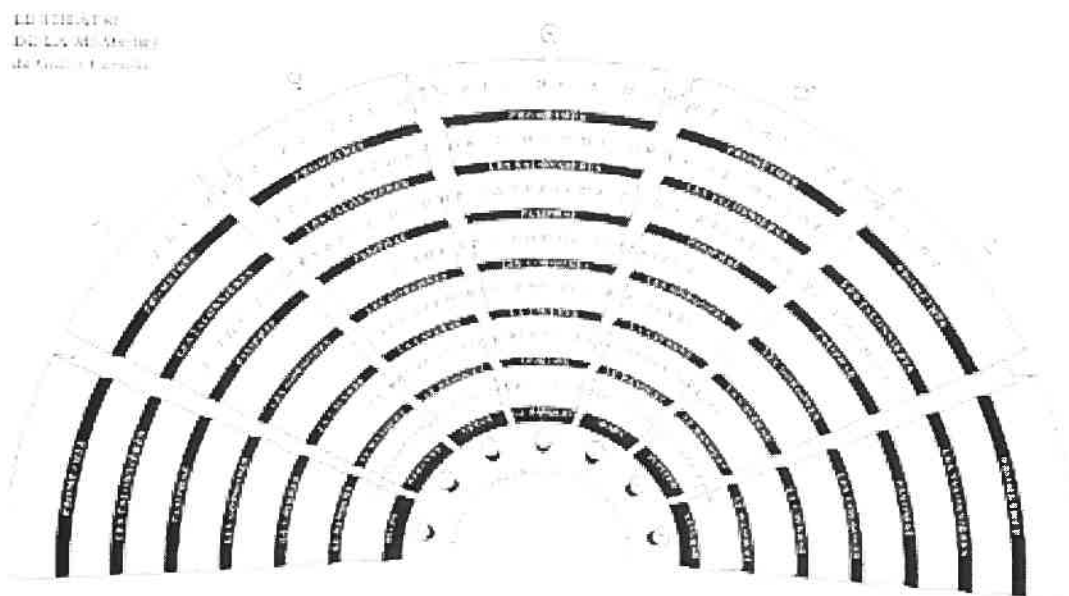
5 : L'intérieur de l'édifice - coupe perspective (J.F.Bernard, 1994)



6 : La galerie supérieure - perspective (J.F.Bernard, 1994)

ANNEXE 2

Plan du «Théâtre de la Mémoire» conçu sur le modèle des théâtres antiques en 1532 par G. Camillo et extrait de son livre (*Le Théâtre de la Mémoire*, Éditions Allia, Paris, 2001)



1 : Le «Théâtre de la Mémoire»

«L'ouvrage est en bois, marqué de nombreuses images et plein de petites boîtes ; il s'y trouve différents ordres et différentes rangées. [...] Camillo donne beaucoup de noms à son Théâtre ; il dit tantôt que c'est un esprit ou une âme construite, tantôt que c'est une âme pourvue de fenêtres. Il prétend que tout ce que l'esprit humain peut concevoir et que nous ne pouvons pas voir de nos yeux corporels, on peut, après une méditation attentive, l'exprimer par certains signes matériels de telle sorte que le spectateur peut concevoir d'un seul coup d'œil tout ce qui, autrement, reste caché dans les profondeurs de l'esprit humain. Et c'est à cause de cette vision physique qu'il l'appelle un Théâtre.» (lettre de Viglius Ayta de Zwichem à Erasme) (G. Camillo, 2001)

ANNEXE 3

Nous présentons le code informatique des procédures dont les images sont montrées dans la Partie 3

```
;; ++++++
;;
;; Cette fonction permet de définir tous les paramètres de visualisation de l'objet
;; Ces fonctions commençant par les deux caractères PI sont décrites dans
;; le manuel de référence (2.5)
;;
;; Nom de la procédure : PItribune
;; ++++++

(PIloadr "SLptsctl.scm")
(PIloadr "SLillpts.scm")
(PIloadr "SLtribun.scm")
(PIloadr "SLcalcoo.scm")
(PIloadr "SLptssge.scm")

(define PICALPOINTS02
  (lambda ()
    (begin
      (PIreset) ; On initialise les paramètres avec
                ; les valeurs par défaut

      ;; On se met en perspective
      (PIsobs '(10 20 10 1)) ; Position de l'observateur
      (PIstarget '(4 4 -2 1)) ; Point de visée
      (PIsbox '(40 30))
      (PIswin '(640 480)) ; Taille de la fenêtre à l'écran
      (PIswincol '(255 255 255 255)); Couleur de fond de la fenêtre

      ;; Ajout de 3 lumières
      (PIalight '(#(-1 3 1 0) 0.4))
      (PIalight '(#(2 3 1 0) 0.3))
      (PIalight '(#(10 15 -10 1) 1))

      ;; Affichage de l'objet
      (PIDraw->image

        (DLuni
         (sol)
         (SLtribun
          (vector 0 0 -20 1)
          (vector 10 0 -10.9 1)
          (vector 9 0 0 1)
          1.8 ; largeur d'une rangée
          0.8 ; hauteur d'une rangée
          3 ; largeur d'un siège
          )
         (axes 0.2))
```

```

        )
        "image01.png"
    ))
)
)

;; Initialisation des paramètres de projection et affichage
;;(Picalpoints)

(define axes
  (lambda (r)
    (DLuni
      (DLatt
        (SDcolRGB (vector 0 0 1 1))
        (GDcyl1001
          (vector r 1)
          (vector 100 1)
        ))
      (DLatt
        (SDcolRGB (vector 1 0 0 1))
        (GDcyl1100
          (vector r 1)
          (vector 100 1)
        ))
      )
    ))
  )
(define sol
  (lambda ()
    (DLatt
      (SDcolRGB (vector 1 1 1 2))
      (GDppp010
        (vector 50 1)
        (vector 30 1)
        (vector -5 1))
      )
    ))
  )
;; Initialisation des paramètres de projection et affichage
(Picalpoints02)

;; ++++++
;; ++++++

```

```

;; ++++++
;; Nom de la procédure : SLtribun
;; ++++++

(define SLtribun
  (lambda (ptf5 ptf0 pto0 lgrm htrg lsge)
    (let*
      (
        (ray (vector 1 3))
        (lptsqdu ; points de contrôle des quadriques
         (SLptsctl ptf5 ptf0 pto0 lgrm htrg))
        (lqud ; liste des quadriques infinies
         (SLcalcoo lptsqdu (vector 90 100) ray))
        (lptssge ; points d'insertion des sièges
         (SLptssge lptsqdu lsge))
        (dd (display (length lptssge)))
        (dd (newline))
        (dd (display (apply + (map (lambda (x) (length x)) lptssge))))
      )
    (DLuni
     (SLillpts lptsqdu ray)

;     (apply
;       DLuni
;       (map (lambda (x)
;         (DLatt (SDcolRGB (vector 2 1 0 2))
;          (GDsphdis (vector 1 2) x)))
;         (caddr lptssge)))
;
;     (apply
;       DLuni
;       (map
;         (lambda (y)
;           (apply
;             DLuni
;             (map (lambda (x)
;               (DLatt (SDcolRGB (vector 2 1 0 2))
;                (GDsphdis (vector 1 2) x)))
;               y)))
;         lptssge))
;
;     )
;   )
; )

;; ++++++
;; ++++++

```

```

;; ++++++
;; Nom de la procédure : SLptsctl
;; ++++++

; Calcul les points de contrôle des quadriques définissant les rangées
; (des plus hautes vers les plus basses)

(define SLptsctl
  (lambda (ptf1 ptf3 pto3 lgrm htrg)
    (let*
      ((pty (vector 0 1 0 0)) ; pt infini sur Y+
       (ptz (vector 0 0 1 0)) ; pt infini sur Z+
       (dist (SGdisseg ptf3 pto3)) ; profondeur totale
       (dist (vector (/ (vector-ref dist 0) (vector-ref dist 1)) 1))
       (nbrg (/ (vector-ref dist 0) lgrm)) ; nb de rangées
       (disr (vector (/ (vector-ref dist 0) nbrg) 1))
       ; dist entre rangées
       (plm (SGx_zx3z ptf1 pty (vector 0 0 0 1))) ; pl médian
       (plh (SGx_zx3z pto3 (vector 0 0 0 1) ptz)) ; pl au sol
       (pll (SGx_zx3z pto3 ptf3 pty)) ; pl latéral droit
       (plfm (SGx_zx3z ; pl frontal médian
                (SGx__dis dist ptf1 ptz) pty (vector 1 0 0 0)))
       (dtp3 (SGy__ppr ptf3 pll)) ; normale en ptf3 au pl latéral
       (dtpd (SGy__ppr pto3 pll)) ; normale en pto3 au pl latéral
       (plfl (SGz__x_y pty dtpd)) ; pl frontal latéral
       (plhs (let f ; pls horizontaux
                ((lp (list plh))
                 (ct 1))
                (if (> ct nbrg)
                    lp
                    (f
                     (cons (SGz__dis (vector (* ct htrg) 1) plh) lp)
                     (+ ct 1))))))
       (pltsm (let f ; pls transversaux médians
                ((lp (list plfm))
                 (ct 1))
                (if (> ct nbrg)
                    lp
                    (f
                     (cons (SGz__dis (vector (* ct (vector-ref disr
0)) 1) plfm) lp)
                     (+ ct 1))))))
       (pltsl (let f ; pls transversaux latéraux de droite
                ((lp (list plfl))
                 (ct 1))
                (if (> ct nbrg)
                    lp
                    (f
                     (cons
plfl)
                     (SGz__dis (vector (* ct (vector-ref disr 0)) 1)
                     lp)
                     (+ ct 1))))))
       (lpt02 (let f
                ((lp (list pty))
                 (ct 1))

```

```

        (if (> ct nbrg)
            lp
            (f (cons pty lp)
                (+ ct 1))))
    (lpt00 (map (lambda (a b) (SGx_zx3z a pll b)) plhs pltsl))
; pts 00
    (lpt01 (vector->list (SGvcxsmz (list->vector lpt00) plm)))
; pts 01
    (lptoo (map (lambda (a b) (SGx___med a b)) lpt00 lpt01))
; pts milieux entre 00 et 01
    (lpt05 (map (lambda (a b) (SGx_zx3z a plm b)) plhs pltsm))
; liste des pts 05
    (lpt03 (map (lambda (a b) (SGx___dis (SGdisseg a b) b (vector 0
0 -1 0))) lptoo lpt05))
    )
    (list lpt00 lpt01 lpt02 lpt03 lpt02 lpt05)
    )
))

```

```

;; ++++++
;; ++++++

```

```

;; ++++++
;; Nom de la procédure : SLcalcoo
;; ++++++

(define SLcalcoo
  (lambda (lpts larg ray)
    (let*
      ((pt0 (vector 0 0 0 1)) ; origine
       (ptx (vector 1 0 0 0)) ; infini sur les X
       (pty (vector 0 1 0 0)) ; infini sur les Y
       (ptz (vector 0 0 1 0)) ; infini sur les Z
       (lpt00 (list-ref lpts 0)) ; pts 00
       (lpt01 (list-ref lpts 1)) ; pts 01
       (lpt03 (list-ref lpts 3)) ; pts 03
       (lpt05 (list-ref lpts 5)) ; pts 05

       (plh (SGx_zx3z ptx pt0 ptz)) ; plan horizontal en O
       (plm (SGx_zx3z pty pt0 ptz)) ; plan ZY
       (pll (SGx_zx3z (car lpt00) (car (reverse lpt00)) pty))

       (ptm35 (SGx_zx3z pll plh plm)) ; pt médian

       (lplh ; plans horizontaux
        (map
         (lambda (a b c)
           (SGx_zx3z a b c))
         lpt00 lpt01 lpt05
        ))
      )
    (map ; quadriques infinies à intersecter
      (lambda (a b c d)
        (DLint
         (DLdua (DLformZ2 (vector a b pty c pty d)))
         (DLformZ2 (vector (car lpt00) (car lpt01) pty ptm35 pty
                           ptm35)))
        )
      ) lpt00 lpt01 lpt03 lpt05))
  ))

```

```

;; ++++++
;; Nom de la procédure : SLptssge
;; ++++++

(define SLptssge
  (lambda (lptsqsd lsge)
    (let*
      ((lp0 (list-ref lptsqsd 0))
       (lp1 (list-ref lptsqsd 1))
       (lp2 (list-ref lptsqsd 2))
       (lp3 (list-ref lptsqsd 3))
       (lp4 (list-ref lptsqsd 4))
       (lp5 (list-ref lptsqsd 5))

       (qud (lambda (no) (vector (list-ref lp0 no) (list-ref lp1 no)
                                   (list-ref lp2 no)
                                   (list-ref lp3 no) (list-ref lp4 no)
                                   (list-ref lp5 no)))))

      (dsge (vector lsge 2))
      (dsge_rat (/ lsge 4))

      (pl11 (SGx_zx3z (car lp1) (car (reverse lp1)) (vector 0 1 0
0)))
      (pl00 (SGx_zx3z (car lp0) (car (reverse lp0)) (vector 0 1 0
0)))
      (plhh (lambda (no) (SGx_zx3z (list-ref lp1 no) (list-ref lp0
no) (list-ref lp5 no)))))
      (ptf (lambda (no) (SGx__euc (SGx_zx3z pl11 pl00 (plhh no))))))

      (pl_central (SGx_zx3z (car lp5) (car lp3) (car lp2))) ; plan
central
      (pl_tangent (lambda (pt no) (SGz__pol pt (SGz2_coo (qud
no))))) ; plan tangent de quadrique #no, dans le point "pt"

      (pt_int (lambda (pt no) (SGx__euc (SGx_zx3z (plhh no)
(pl_tangent pt no) pl11)))) ; point d'intersection du plan tangent

; dans le point "pt" avec le plan des points p1

; et le plan horizontal

      (pt_dist (lambda (pt no) (SGx__euc (SGx__dis dsge pt (pt_int
pt no))))) ; point à distance "dsge" du point "pt"

; dans la direction de pt_int

      (dist_abs (lambda (pt1 pt2)
; valeur absolue de la distance entre deux points
      (abs (/ (vector-ref (SGdisseg pt1 pt2) 0) (vector-
ref (SGdisseg pt1 pt2) 1)))))

      (pt_dist_sur_quad_ (lambda (pt no) (SGqdrray (pt_dist pt no)
(ptf no) (qud no))))
      (pt_dist_sur_quad (lambda (pt no)
        (let ((pt0 (vector-ref (pt_dist_sur_quad_ pt no) 0))

```

```

                                (pt1 (vector-ref (pt_dist_sur_quad pt no) 1)))
                                (if (< (dist_abs pt0 (list-ref lp5 no))
                                        (dist_abs pt1 (list-ref lp5 no)))
                                    pt0
                                    pt1))))

(all_pts (lambda (no)      ;; tous les points pour une rangée
(quadrique) #no
  (let f ( (ls (list))
            (pt (list-ref lp5 no)) )
    (if (<= (dist_abs pt (list-ref lp1 no)) dsge_rat)
      ; si la distance jusqu'à "p1" devient
      ; plus petite que la largeur du siège
      (reverse ls)
      (f (cons pt ls)
          (pt_dist_sur_quad pt no))))))

(all_pts_sym (lambda (no)
; points sur une rangée avec les symétriques par rapport au plan
central (p2,p3,p5)
  (append (all_pts no)
           (vector->list (SGvcxsmz (list->vector
(all_pts no)) pl_cent))))))

(all_pts_sieges
; les points sur toutes les rangées
  (letrec ( (ls_num (lambda (num ls) (if (= 0 num) ls (cons (-
num 1) (ls_num (- num 1) ls)))) )
    (map all_pts_sym (ls_num (- (length lp1) 1) '()))))
  all_pts_sieges
))

;; ++++++
;; ++++++
```



```

;; ++++++
;; Nom de la procédure : GDtet_4x
;; Procédure qui génère la pyramide de vision
;; ++++++

(define SGsph_4x
  (lambda (v4a v4b v4c v4d)
    (let* ((a0 (vector-ref v4a 0))
           (a1 (vector-ref v4a 1))
           (a2 (vector-ref v4a 2))
           (a3 (vector-ref v4a 3))

           (b0 (vector-ref v4b 0))
           (b1 (vector-ref v4b 1))
           (b2 (vector-ref v4b 2))
           (b3 (vector-ref v4b 3))

           (c0 (vector-ref v4c 0))
           (c1 (vector-ref v4c 1))
           (c2 (vector-ref v4c 2))
           (c3 (vector-ref v4c 3))

           (d0 (vector-ref v4d 0))
           (d1 (vector-ref v4d 1))
           (d2 (vector-ref v4d 2))
           (d3 (vector-ref v4d 3))

           (a3b3 (* 2 a3 b3))
           (b3c3 (* 2 b3 c3))
           (c3d3 (* 2 c3 d3))

           (centre (SGvecred (SGx_zx3z
                               (vector (* a3b3 (- (* b0 a3) (* a0 b3)))
                                      (* a3b3 (- (* b1 a3) (* a1 b3)))
                                      (* a3b3 (- (* b2 a3) (* a2 b3)))
                                      (- (* b3 b3 (+ (* a0 a0) (* a1
a1) (* a2 a2)))
                                      (* a3 a3 (+ (* b0 b0) (* b1
b1) (* b2 b2))) ) )

                               (vector (* b3c3 (- (* c0 b3) (* b0 c3)))
                                      (* b3c3 (- (* c1 b3) (* b1 c3)))
                                      (* b3c3 (- (* c2 b3) (* b2 c3)))
                                      (- (* c3 c3 (+ (* b0 b0) (* b1
b1) (* b2 b2)))
                                      (* b3 b3 (+ (* c0 c0) (* c1
c1) (* c2 c2))) ) )

                               (vector (* c3d3 (- (* d0 c3) (* c0 d3)))
                                      (* c3d3 (- (* d1 c3) (* c1 d3)))
                                      (* c3d3 (- (* d2 c3) (* c2 d3)))
                                      (- (* d3 d3 (+ (* c0 c0) (* c1
c1) (* c2 c2)))
                                      (* c3 c3 (+ (* d0 d0) (* d1
d1) (* d2 d2))) ) )

                               )))

```

```

(rayon (SGdisseg v4a centre)) )
(SGspphis rayon centre) )))

(define GDtet_4x
  (lambda (A B C D)
    (let* ( (mat (vector A B C D))
            (A0 (SGx__pro (vector 1 -1 1 -1) mat))
            (A1 (SGx__pro (vector 1 -1 -1 1) mat)) )
      (DLmmx
        (DLformz2 (vector-ref (SGsph_4x A B C D) 0))
        (apply DLint
          (map DLformz2
            (list (vector A B C D C D)
                  (vector C D A B A B)
                  (vector A D A0 A1 A0 A1) )
            )
          )
        )
      )
    )
  )

(define pyr_vision
  (lambda (v4_sommet lsv4_scene seuil)
    (let* ((ang_1 (SGang_2z (SGx_zx3z v4_sommet (car lsv4_scene) (cadr
lsv4_scene))
      SGx_zx3z v4_sommet (caddr lsv4_scene) (caddr lsv4_scene))))
      (ang_2 (SGang_2z (SGx_zx3z v4_sommet (cadr lsv4_scene) (caddr
lsv4_scene))
      SGx_zx3z v4_sommet (car lsv4_scene) (caddr lsv4_scene))))
      (ang_1_num (/ (vector-ref ang_1 0) (vector-ref ang_1 1)))
      (ang_2_num (/ (vector-ref ang_2 0) (vector-ref ang_2 1)))
      (vol_pyramide
        (DLuni (GDtet_4x v4_sommet (car lsv4_scene) (cadr
lsv4_scene) (caddr lsv4_scene))
          (GDtet_4x v4_sommet (car lsv4_scene) (caddr
lsv4_scene) (caddr lsv4_scene)))) )
      (begin (display ang_1_num) (newline) (display ang_2_num)
        (newline)
        (if (>= ang_1_num seuil)
          (if (>= ang_2_num seuil)
            (DLatt (SDtexture 'sgdl_colrgb)
              (SDtx_fgd (vector 255 100 100 255))
              (SDtx_alpha .6)
              vol_pyramide)
            (DLatt (SDtexture 'sgdl_colrgb)
              (SDtx_fgd (vector 250 200 50 255))
              (SDtx_alpha .6)
              vol_pyramide))
          (if (>= ang_2_num seuil)
            (DLatt (SDtexture 'sgdl_colrgb)
              (SDtx_fgd (vector 0 190 255 255))
              (SDtx_alpha .6)
              vol_pyramide)
            (DLatt (SDtexture 'sgdl_colrgb)
              (SDtx_fgd (vector 250 100 255 255))
              (SDtx_alpha .6)
              vol_pyramide))))))

(PIreset)

```

```

(PIsbox (vector 60 60))
(PIdraw
  (apply DLuni
    (map (lambda (v4)
      (pyr_vision v4
        (list (vector -4 0 5 1) (vector 4 0 5 1)
          (vector 4 0 -5 1) (vector -4 0 -5 1))
          1/4))
      (list (vector 15 25 10 1) (vector 5 25 10 1) (vector 10 15
        10 1) (vector 17 55 15 1))))))

;; ++++++
;; ++++++

```

```

;; ++++++
;; Nom de la procédure : siege
;; Procédure qui génère un modèle de siège
;; ++++++

(define siege2
  (lambda (larg)
    (let* ((quad1 (DLformz2 (vector (vector larg 0 0 -2)
                                     (vector larg 0 0 2)
                                     (vector 0 1 0 0)
                                     (vector 0 0 1 0)
                                     (vector 0 (/ larg 3/2) 0 1)
                                     (vector 0 0 larg 2))))))

      (quad2 (DLatt (SDmatrep (SGmatmul (SGmatsca (vector 3 3.5 4 3))
                                           (SGmattrl (vector 0 (/ larg
3) (/ larg 2) 1))))
              quad1))
      (quad3 (DLatt (SDmatrep (SGmatmul (SGmatsca (vector 3 1 1 1))
                                           (SGmattrl (vector 0 larg (/
larg 3.5) 1))))
              quad1))
      (quad4 (DLatt (SDmatrep (SGmatmul (SGmatsca (vector 3 4/3 1/2
1))
                                           (SGmattrl (vector 0 (/ larg
3/2) (/ larg 5) 1))))
              quad1))
      (quad5 (DLatt (SDmatrep (SGmatmul (SGmatsca (vector 6 1 1 2))
                                           (SGmattrl (vector 0 (/ larg
7.7) (/ larg 3.7) 1))))
              quad1))

    )

    ; (DLuni ;; pour représenter les têtes...
    ; (DLatt (SDcolRGB (vector 3 2 1 3)) (GDsphdis (vector larg 5)
(vector 0 (/ larg 3/2) (/ larg 5) 1)))

    (DLatt (SDcolRGB (vector 173 46 1 255))
      (DLint
        quad1
        (DLatt (SDcolRGB (vector 67 20 15 255)) (DLdua quad2))
        (DLdua quad3)
        (DLdua quad4)
        (DLdua quad5)
        )) ))))

(define siege_place2
  (lambda (v4_insert_ v4_centre_ larg)
    (let* ((round_num (lambda (num) (rationalize (inexact->exact num)
1/1000)))

      (round_vec (lambda (v4) (vector (round_num (vector-ref v4
0)) (round_num (vector-ref v4 1))
                                     (round_num (vector-ref v4
2)) (round_num (vector-ref v4 3)))))

      (v4_insert (SGx__euc (round_vec v4_insert_)))

```

```

(v4_centre (SGx__euc (round_vec v4_centre_))))
(DLatt
  (SDmatrep (vector
    (SGvecuni (SGvct__z (SGx_zx3z v4_insert v4_centre
(vector 0 1 0 0))))
    (vector 0 1 0 0)
    (SGvecuni (SGvct__y (SGy__coo v4_insert v4_centre)))
    v4_insert))
    (siege2 larg))))))

(define ls1 (list (vector 2 0 0 1) (vector 7 0 2 1) (vector 12 0 4 1)
(vector 17 0 2 1) (vector 22 0 0 1)))
;(PIreset)
;(PIdraw (apply DLuni (map (lambda (x) (siege_place2 x (vector 12 0 -12
1) 3
                                                                    ;(vector 0 0 1 0)
;; les sièges sont parallèles
;                                                                    )) ls1)))

;; ++++++
;; ++++++

;; ++++++
;; Nom de la procédure : Ptribune
;; Procédure modifiée dans le but d'insérer un modèle de siège
;; ++++++

(PIloadr "siege.scm")
(PIloadr "siege2.scm")
(PIloadr "SLptsctl.scm")
(PIloadr "SLlillpts.scm")
(PIloadr "SLtribun.scm")
(PIloadr "SLcalcoo.scm")
(PIloadr "SLptssge.scm")

(define Picalpoints02
  (lambda (ls_rangee_num_siege)
    (let ((tribune (SLtribun
      (vector 0 0 -27 1)
      (vector 20 0 -19.5 1)
      (vector 9 0 0 1)
      1.8 ; largeur d'une rangée
      0.8 ; hauteur d'une rangée
      3 ; largeur d'un siège

      ;; volume affiché comme siège
      ;"sph"
      "siege"

      ;; rangée affichée ou "all"
      ;2
      "all"

      ;; afficher la scène ou non

```

```

        (if (null? ls_rangee_num_siege)
            #f
            #t)

        ;; type de siège
        'siege
        ; 'siege2
        )))

(begin
  (PIreset)                                ; On initialise les paramètres avec
                                           ; les valeurs par défaut

  ;; On se met en perspective ou à la place d'un siège
  (PIsobs      ; Position de l'observateur
    (if (null? ls_rangee_num_siege)
        '#(10 15 10 1)
        (SGx__dis (vector 3 1) (list-ref (list-ref
                                           (car tribune)
                                           ls_rangee_num_siege) )
                                           ; numéro du siège
                                           (cadr
ls_rangee_num_siege) )      ; rangée du siège
                                           (vector 0 2 1 0))))))

  (PIstarget      ; Point de visée
    (if (null? ls_rangee_num_siege)
        '#(0 0 0 1)
        (vector 0 6 0 1))) ;; le centre de la scène
  (PIsbox      '#(40 30))
  (PIswin      '#(640 480))      ; Taille de la fenêtre à l'écran
  (PIswincol   '#(255 255 255 255)); Couleur de fond de la fenêtre

  ;; Ajout de 3 lumières
  ;   (PIalight '#(-1 3 1 0) 0.4))

  (PIalight '#(2 3 1 0) 0.2))
  (PIalight '#(10 8 -1 1) .3))
  (PIalight '#(0 10 -3 1) .7))

  (PIslightsMode (not (null? ls_rangee_num_siege)))

  (PIatexture 'decor "scene.png")
  ;; Affichage de l'objet
  (PIDraw->image

    (DLuni
      (sol)
      (cadr tribune)
      (if (null? ls_rangee_num_siege) (axes 0.2) 0)
      )
    "image01.png"
  ))))

;; Initialisation des paramètres de projection et affichage
;; (PIcalpoints)

```

```

(define axes
  (lambda (r)
    (DLuni
     (DLatt
      (SDcolRGB (vector 0 0 1 1))
      (GDcyl001
       (vector r 1)
       (vector 100 1)
       ))
     (DLatt
      (SDcolRGB (vector 1 0 0 1))
      (GDcyl100
       (vector r 1)
       (vector 100 1)
       )))))

```

```

(define sol
  (lambda ()
    (DLatt
     (SDcolRGB (vector 1 1 1 2))
     (GDppp010
      (vector 50 1)
      (vector 30 1)
      (vector -5 1))
     ))

```

```

;; Initialisation des paramètres de projection et affichage
;(PIcalpoints02 (list))
(PIcalpoints02 (list 5 7))
;(PIcalpoints02 (list 1 8))

```

```

;; ++++++
;; ++++++

```

```

;; ++++++
;; Nom de la procédure : PItribune
;; Procédure modifiée dans le but de visualiser la scène
;; ++++++

(PIloadr "siege2.scm")
(PIloadr "SLptsctl.scm")
(PIloadr "SLlillpts.scm")
(PIloadr "SLtribun.scm")
(PIloadr "SLcalcoo.scm")
(PIloadr "SLptssge.scm")

(define Picalpoints02
  (lambda (ls_rangee_num_siege)
    (let ((tribune (SLtribun
                     (vector 0 0 -27 1)
                     (vector 20 0 -19.5 1)
                     (vector 9 0 0 1)
                     1.8 ; largeur d'une rangée
                     0.8 ; hauteur d'une rangée
                     3 ; largeur d'un siège

                     ;; volume affiché comme siège
                     ;"sph"
                     "siege"

                     ;; rangée affiché ou "all"
                     ;1
                     "all"

                     ;; afficher la scène ou non
                     (if (null? ls_rangee_num_siege)
                         #f
                         #t)
                     )))
      (begin
        (PIreset) ; On initialise les paramètres avec
                  ; les valeurs par défaut

        ;; On se met en perspective ou à la place d'un siège
        (PIsobs ; Position de l'observateur
          (if (null? ls_rangee_num_siege)
              '#(10 15 10 1)
              (SGx__dis (vector 3 1) (list-ref (list-ref
                                                  (car tribune)
                                                  (car
ls_rangee_num_siege) ) ; numéro du siège
                                                  (cadr
ls_rangee_num_siege) ) ; rangée du siège
              (vector 0 2 1 0))))

        (PIstarget ; Point de visee
          (if (null? ls_rangee_num_siege)

```



```

                                '#(0 0 0 1)
                                (vector 0 6 0 1))) ;; le centre de la scène
(PIsbox      '#(40 30))
(PIswin      '#(640 480)) ; Taille de la fenêtre a l'écran
(PIswincol   '#(255 255 255 255)); Couleur de fond de la fenêtre

;; Ajout de 3 lumieres
; (PIalight '#(#{(-1 3 1 0) 0.4}))

(PIalight '#(#{(2 3 1 0) 0.2}))
(PIalight '#(#{(10 8 -1 1) .3}))
(PIalight '#(#{(0 10 -3 1) .7}))

(PIslightsMode (not (null? ls_rangee_num_siege)))

(PIatexture 'decor "scene.png")
;; Affichage de l'objet
(PIdraw->image

  (DLuni
    (sol)
    (cadr tribune)
    (if (null? ls_rangee_num_siege) (axes 0.2) 0)
  )
  "image01.png"
))
))

;; Initialisation des paramètres de projection et affichage
;;(PIcalpoints)

(define axes
  (lambda (r)
    (DLuni
      (DLatt
        (SDcolRGB (vector 0 0 1 1))
        (GDcyl001
          (vector r 1)
          (vector 100 1)
        )
      )
      (DLatt
        (SDcolRGB (vector 1 0 0 1))
        (GDcyl100
          (vector r 1)
          (vector 100 1)
        )
      )
    )
  )
)

(define sol
  (lambda ()
    (DLatt
      (SDcolRGB (vector 1 1 1 2))
      (GDppp010
        (vector 50 1)
        (vector 30 1)
        (vector -5 1))
    )
  )
)

```

```

;; Initialisation des paramètres de projection et affichage
;(Picalpoints02 (list))
;(Picalpoints02 (list 5 12))
(Picalpoints02 (list 1 8))

;; ++++++
;; ++++++

;; ++++++
;; Nom de la procédure : SLtribun
;; Procédure modifiée dans le but de visualiser la scène
;; ++++++

;; "vol_siege" montrer l'emplacement d'un siège par une sphère, ou le
volume du siège
;; "num_rangee" montrer les sièges de rangée "n" ou tous

(define SLtribun
  (lambda (ptf5 ptf0 pto0 lgrm htrg lsge vol_sieges num_rangee
    bool_scene)
    (letrec
      (
        (ray (vector 1 3))
        (lptsqud ; pts de ctrl des quadriques
          (SLptsctl ptf5 ptf0 pto0 lgrm htrg))
        (lqud ; liste des quad infinies
          (SLcalcoo lptsqud (vector 90 100) ray))
        (lptssge ; pts d'insertion des sièges
          (car (SLptssge lptsqud lsge)))
        (centres_quad (cadr (SLptssge lptsqud lsge)))

        (vol_sph (lambda (x) (DLatt (SDcolRGB (vector 2 1 0 2))
          (GDSphdis (vector 1 2) x))))

        ;; siege #num sur le rangée #no
        (vol_siege (lambda (num no) (siege_place2 (list-ref (list-ref
          lptssge no) num)
          (list-ref
            centres_quad no)
            3/2)))

        (ls_num (lambda (num ls)
          (if (= 0 num) ls (cons (- num 1) (ls_num (- num 1)
            ls))))) ;; liste de nombres - de 0 à "num"

        (vol_sieges_rangee (lambda (no)
          (map (lambda (x) (vol_siege x no))
            (ls_num (length (list-ref lptssge
              no)) (list))
            )))

        ;; volume et décor de la scene (largeur = largeur de la scène;
profondeur = 1/2 largeur; hauteur = 3/2 long)
        (long_scene (/ (vector-ref pto0 0) (vector-ref pto0 3)))

```

```

        (high_scene (* 3/2 long_scene))
        (scene (DLuni (DLint (GDcylseg (vector long_scene .9) (vector
0 0 0 1) (vector 0 high_scene 0 1))
                (DLdua (GDcylseg (vector long_scene 1.3)
(vector 0 1 0 20) (vector 0 (+ 1 high_scene) 0 1)))
                (GDpar001 (vector long_scene .8)))
        (DLint (GDsphdis (vector long_scene .9) (vector
0 high_scene 0 1))
                (DLdua (GDsphdis (vector long_scene 1.3)
(vector 0 high_scene 0 1)))
                (GDparseg (vector 0 high_scene 0 1)
(vector 0 (* 2 high_scene) 0 1))))
        (scene_tex (DLatt
                    (SDmatrep (SGmatsca (vector 1.1 1 .7 1)))
                    (SDtexture 'decor)
                    (SDtx_jnt 'mirror)
                    (SDtx_pol 'bilinear)
                    (SDtx_mat
                    (SGmatmul
                    (SGmatsca (vector 1 1.1 1 27))
                    (SGmattrl (vector long_scene 0 0 1 )) ;(/
(vector-ref pto0 0) (vector-ref pto0 3)) 1))
                    ))
                    ;(SDtx_alpha 0.5)
                    scene))

    )
;      (begin (newline) (display (SGx__euc (car (caddr lptssge)))))
;      (newline) (newline) (display (caddr centres_quad))
(newline) (newline)
(list lptssge

(DLuni
(SLillpts lptsqud ray)
(if bool_scene scene_tex 0)
(DLatt (SDmatrep (SGmattrl (vector 0 2 0 1)))
        (apply DLuni (if (equal? vol_sieges "sph")
                        (if (number? num_rangee)
                            (map vol_sph (list-ref lptssge
num_rangee))
                            (map vol_sph (apply append lptssge)))
                        (if (number? num_rangee)
                            (vol_sieges_rangee num_rangee)
                            (apply append (map vol_sieges_rangee
(ls_num (- (length lqud) 1) (list))) ))
                        )))

;      (siege_place (cadr (caddr lptssge)) (caddr centres_quad ) 3)
      ))))

;; ++++++
;; ++++++

```

```

;; ++++++
;; Nom de la procédure : secteur
;; Procédure qui attribue des couleurs aux sièges pour exprimer la qualification visuelle
;; ++++++

(define secteurs
  (lambda (ls_pts lsv4_scene ;; (list (vector -8 0 0 1) (vector 8 0 0
1) (vector 8 10 0 1) (vector -8 10 0 1) (vector 0 0 3 1))
          ls_seuils_dist ls_seuils_emplacement ls_seuils_horiz
ls_seuils_vert
          num_categories)
    (let* ((sph (lambda (x) (GDsphdis (vector 1 1) x)))

           ;; angles de vision
           (ang_hor (lambda (v4_sommet)
                      (SGang_2z (SGx_zx3z v4_sommet (car lsv4_scene)
(caddr lsv4_scene))
                                (SGx_zx3z v4_sommet (cadr lsv4_scene)
(caddr lsv4_scene))))))
           (ang_vert (lambda (v4_sommet)
                       (SGang_2z (SGx_zx3z v4_sommet (car lsv4_scene)
(cadr lsv4_scene))
                                (SGx_zx3z v4_sommet (caddr lsv4_scene)
(caddr lsv4_scene))))))
           (ang_hor_deg (lambda (v4_sommet)
                          (truncate (/ (* 180 (vector-ref (ang_hor
v4_sommet) 0))
                                      (* (SGcst_pi) (vector-ref
(ang_hor v4_sommet) 1))))))
           (ang_vert_deg (lambda (v4_sommet)
                           (truncate (/ (* 180 (vector-ref (ang_vert
v4_sommet) 0))
                                      (* (SGcst_pi) (vector-ref
(ang_vert v4_sommet) 1))))))
           ; (xxx (begin (display "Angle horizontal = ") (display
(ang_hor_deg (car (caddr ls_pts)))) (newline)
           ; (display "Angle vertical = ") (display
(ang_vert_deg (car (caddr ls_pts)))) (newline)))

           ;; distance (horizontale?) du centre de la scène (sur le
sol?)
           (dist (lambda (v4_sommet) (SGdisseg (vector (vector-ref
v4_sommet 0) 0 (vector-ref v4_sommet 2) (vector-ref v4_sommet 3))
          (list-ref lsv4_scene
4))))
           (dist_num (lambda (v4_sommet) (/ (vector-ref (dist
v4_sommet) 0) (vector-ref (dist v4_sommet) 1))))

           ; (xx (begin (display "Distance horizontale jusqu'au milieu
de la scène = ")
           ; (display (dist_num (car (caddr ls_pts))))
           (newline)))

           ;; emplacement

```

```

(ang_emplacement (lambda (v4_sommet)
  (SGang_2z (SGx_zx3z v4_sommet (list-ref
lsv4_scene 4) (vector 0 1 0 0))
  (SGx_zx3z (list-ref lsv4_scene
4) (vector 0 1 0 0)
  (SGx__sub (vector 1
1) (car lsv4_scene) (cadr lsv4_scene))))))
(ang_emplacement_deg_ (lambda (v4_sommet)
  (truncate (/ (* 180 (vector-ref
(ang_emplacement v4_sommet) 0))
  (*
(SGcst_pi) (vector-ref (ang_emplacement v4_sommet) 1))))))
(ang_emplacement_deg (lambda (v4_sommet) (if (<
(ang_emplacement_deg_ v4_sommet) 179)

(ang_emplacement_deg_ v4_sommet)

1))))
; (xxxx (begin (display "Angle de l'emplacement = ") (display
(ang_emplacement_deg (caddr (caddr ls_pts)))) (newline)))

;; qualités des valeurs
;; distance de la scène
(qual1_dist (lambda (v4) (<= (dist_num v4) (car
ls_seuils_dist))))
(qual2_dist (lambda (v4) (and (> (dist_num v4) (car
ls_seuils_dist))
(< (dist_num v4) (cadr
ls_seuils_dist))))
(qual3_dist (lambda (v4) (>= (dist_num v4) (cadr
ls_seuils_dist))))

;; angle de l'emplacement
(qual1_empl (lambda (v4) (<= (ang_emplacement_deg v4) (car
ls_seuils_emplacement))))
(qual2_empl (lambda (v4) (and (> (ang_emplacement_deg v4)
(car ls_seuils_emplacement))
(< (ang_emplacement_deg v4)
(cadr ls_seuils_emplacement)))))
(qual3_empl (lambda (v4) (>= (ang_emplacement_deg v4) (cadr
ls_seuils_emplacement))))

;; angle de vision horizontal
(qual1_horiz (lambda (v4) (and (>= (ang_hor_deg v4) (car
ls_seuils_horiz))))
; (< (ang_hor_deg v4) (cadr
ls_seuils_horiz))))
(qual2_horiz (lambda (v4) (>= (ang_hor_deg v4) (cadr
ls_seuils_horiz))))
(qual3_horiz (lambda (v4) (<= (ang_hor_deg v4) (car
ls_seuils_horiz))))

;; angle de vision vertical
(qual1_vert (lambda (v4) (and (>= (ang_vert_deg v4) (car
ls_seuils_vert))))
; (< (ang_vert_deg v4) (cadr
ls_seuils_vert))))

```

```

        (qual2_vert (lambda (v4) (>= (ang_vert_deg v4) (cadr
ls_seuils_vert))))
        (qual3_vert (lambda (v4) (<= (ang_vert_deg v4) (car
ls_seuils_vert))))

;; meilleures conditions
(cond1 (lambda (v4) (and (qual1_dist v4) (qual1_empl v4)
(qual1_vert v4) (qual1_horiz v4))))
;; une condition n'est pas la meilleure
(cond2 (lambda (v4) (or (and (qual1_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        )))

;; deux conditions ne sont pas les meilleures ou une
condition est la pire
(cond3 (lambda (v4) (or (and (qual1_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        )))

;; trois conditions ne sont pas les meilleures
(cond4 (lambda (v4) (or (and (qual1_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        )))

;; toutes les conditions sont moyennes

```

```
(cond5 (lambda (v4) (and (qual2_dist v4) (qual2_empl v4)
(qual2_vert v4) (qual2_horiz v4))))
```

```
;; une condition moyenne et une - pire
(cond6 (lambda (v4) (or (and (qual1_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual1_horiz v4))))))
```

```
;; deux conditions moyennes et une - pire
(cond7 (lambda (v4) (or (and (qual1_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual1_horiz v4))
                        (and (qual1_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual2_horiz v4))
```

```

                                (and (qual2_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual2_horiz v4))
                                (and (qual2_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual3_horiz v4))
                                (and (qual2_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual1_vert v4) (qual3_horiz v4))
                                (and (qual3_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual1_horiz v4))
                                (and (qual1_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual2_horiz v4))
                                (and (qual2_dist v4) (qual1_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual2_horiz v4))))))

```

```

;; trois conditions moyennes et une - pire
(cond8 (lambda (v4) (or (and (qual2_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual2_horiz v4))))))

```

```

;; deux conditions moyennes et 2 pires
(cond9 (lambda (v4) (or (and (qual2_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual2_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual3_horiz v4))

```

```

                        (and (qual2_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual2_horiz v4))))))

```

```

;; trois pires et une moyenne
(cond10 (lambda (v4) (or (and (qual2_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual2_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual3_empl
v4) (qual2_vert v4) (qual3_horiz v4))
                        (and (qual3_dist v4) (qual2_empl
v4) (qual3_vert v4) (qual3_horiz v4))))))

```

```

;; toutes les conditions sont les pires
(cond11 (lambda (v4) (and (qual3_dist v4) (qual3_empl v4)
(qual3_vert v4) (qual3_horiz v4))))

```

```

;; couleurs pour indiquer les catégories des sièges
(color (lambda (v4) (if (= 0 num_categories)
                        (cond ((cond1 v4) (vector 255 100
100 255))
                              ((cond2 v4) (vector 255 170
100 255))

```



```

((cond3 v4) (vector 220 200 100 255))
((cond4 v4) (vector 160 160 100 255))
((cond5 v4) (vector 100 200 100 255))
((cond6 v4) (vector 100 255 180 255))
((cond7 v4) (vector 100 150 160 255))
((cond8 v4) (vector 100 100 220 255))
((cond9 v4) (vector 160 100 220 255))
((cond10 v4) (vector 220 100 220 255))
((cond11 v4) (vector 100 100 100 255))
      (else (vector 200 200 200 255))
    )
  (cond ((or (cond1 v4) (cond2 v4)) (vector 255 100 100
255))
        ((or (cond3 v4) (cond4 v4)
(cond5 v4)) (vector 100 240 100 255))
        ((or (cond6 v4) (cond7 v4)
(cond8 v4) (cond9 v4) (cond10 v4) (cond11 v4))
          (vector 100 100 240 255))
          (else (vector 100 100 240
255)))))) ; (vector 200 200 200 255)

(sph_categorie (lambda (v4) (DLatt (SDcolRGB (color v4))
(sph v4))))
)
(DLatt (SDmatrep (SGmattrl (vector 0 3 0 1)))
  (apply DLuni (map sph_categorie (apply append
ls_pts))))))

;; ++++++
;; ++++++

```